



Editora
Bernoulli



FÍSICA

Volume 02





FÍSICA Volume 02

Frente A

03 3 Introdução à

Cinemática vetorial Autor:
Francisco Pazzini Couto

04 15 Lançamento
horizontal e lançamento
oblíquo Autor: Francisco
Pazzini Couto

Frente B

03 25 Calorimetria Autor:
Luiz Machado

04 37 Gases Autor: Luiz
Machado

Frente C

03 47 Espelhos esféricos
Autor: Lívio Ribeiro Canto

04 57 Refração da luz
Autor: Lívio Ribeiro Canto

Sumário - Física Frente D 04

69 Trabalho e potencial elétrico Autores:
Luiz Machado Lívio Ribeiro Canto

05 81 Condutores
Autores: Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

06 91 Corrente elétrica
Autores: Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

2 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Introdução à Cinemática 03 A vetorial

Imagine-se de pé em um ponto da sala em que você está agora se deslocar 5 passos da posição onde se encontra, faz todo o

e obedecendo ao seguinte comando: dê 3 passos a partir do local sentido perguntar: “Para onde?” A pessoa pode dar 5 passos

em que se encontra; posteriormente, dê mais 4 passos e, por para frente, para trás, para a direita, para a esquerda, etc.

último, mova-se mais 5 passos. Após efetuar esses movimentos, A fotografia a seguir mostra uma bala movendo-se na

é possível responder a quantos passos você estaria da posição direção horizontal, cujo sentido é da direita para a esquerda,

inicial? 12 passos? 2 passos? No mesmo local em que iniciou com velocidade instantânea de 100 m/s. Como já dito,

a caminhada? As opções anteriores são apenas três de as grandezas vetoriais só ficam completamente definidas

inúmeras possíveis respostas para essa situação. Uma resposta quando informamos seu módulo, sua direção e seu sentido.

seguramente correta só pode ser dada com o conhecimento Logo, a velocidade da bala está completamente definida.

de uma informação fundamental: **para onde** foram dados os

passos? Algumas grandezas físicas, como o deslocamento, **Vetor** somente ficam bem definidas se indicarmos além de seu valor

numérico, seguido de sua unidade, sua direção e seu sentido. Para representarmos graficamente as grandezas vetoriais,

Se tais indicações não são feitas, a informação é incompleta e, utilizamos os **vetores**, que são segmentos de reta

portanto, incorreta. orientados. Na fotografia da bala furando uma lâmpada,

a velocidade da bala seria representada pelo vetor a seguir:

Este módulo introduzirá uma ferramenta fundamental –
o vetor – para o estudo de grandezas físicas que, para



ficarem completamente definidas, necessitam que sejam

especificados seu módulo (valor numérico com unidade ^{ank}

Fr

de medida), sua direção e seu sentido. Algumas dessas ,

empf

grandezas físicas você já conhece, como a velocidade, ^κ

o deslocamento, a aceleração e a força. Outras você virá ^{Markus Wikimedia Commons} a conhecer, como o campo elétrico e o campo magnético. ^{v bala}

O vetor carrega consigo todas as informações necessárias

GRANDEZAS ESCALARES ^E para definir as
grandezas vetoriais: o módulo está associado

GRANDEZAS VETORIAIS ao comprimento do
segmento de reta (na figura anterior,

cada 1 cm representa 50 m/s), a direção do vetor é a direção
do segmento de reta (direção horizontal), e o sentido é

Existem grandezas na Ciência que ficam bem determinadas

fornecido pela seta (sentido da direita para a esquerda). Veja
apenas com o fornecimento de seu valor numérico e sua

a seguir algumas convenções estabelecidas para representar
respectiva unidade, como o volume, a massa, a temperatura

um vetor qualquer:

e os intervalos de tempo. Essas grandezas são denominadas

B

grandezas escalares.

v vetor: $v = AB$

Outra classe de grandezas, **as grandezas vetoriais**, módulo: $v = AB = |v| = |AB|$

exige que informemos algo a mais além de seu **módulo**: sua **A** **direção** e seu **sentido**. Quando se pede a uma pessoa para

Editora Bernoulli 3

Frente A Módulo 03

EXERCÍCIO RESOLVIDO

d 1

01. A figura a seguir representa os vetores velocidade de quatro automóveis em uma esquina. Marcar a(s) d 2 alternativa(s) que contém apenas afirmativas corretas.

Vejamos, então, os dois processos pelos quais pode ser



v_A realizada a soma vetorial dos vetores d e d_1 d_2

A 1º método: Poligonal

Para realizarmos a soma vetorial $d = d + d_1$ d_2 , pelo método 2



v_{BD} extremidade do vetor d . O vetor soma dos

deslocamentos $\vec{v}_1$ $\vec{d}_C$ $\vec{B}$ $\vec{D}$ da poligonal, devemos desenhar a origem do vetor $\vec{d}$ na



$\vec{d}$ e é o segmento de reta cuja origem é a origem de $\vec{e}_1$ $\vec{d}_2$ $\vec{d}_1$



cuja extremidade é a extremidade de $\vec{d}$, como representado na figura a seguir. Ao mover os vetores $\vec{d}$ e $\vec{d}_1$, não podemos alterar seus módulos, suas direções, nem seus sentidos.



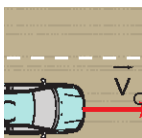
$\vec{d}_2$ $\vec{d}_2$



$\vec{d}_1$ $\vec{d}_1$



A) $\vec{v}_B$ $\vec{d}$ e $\vec{v}_D$



têm mesma direção.



B) $\vec{v}_B$ e $\vec{v}_C$ têm mesma direção. $\vec{B}$ $\vec{C}$ Para determinarmos o módulo de $\vec{d}$, devemos utilizar uma

C) escala anteriormente fornecida para os módulos dos vetores v_B e v_D têm mesma direção e sentidos opostos.



D) d_1 e d_2 ou aplicar a Lei dos Cossenos. O vetor d_1 e d_2 é denominado v e v têm mesmo sentido. d vetor resultante ou vetor soma. Posteriormente, serão dados

E) v_C e v_D têm direção e sentidos opostos. alguns exemplos numéricos.

F) v e v têm módulos diferentes. A_C Esse método de soma vetorial nos permite somar mais de

G) v_B e v_D são iguais. dois vetores ao mesmo tempo. Se tivéssemos quatro vetores,

Resolução: como os representados na figura seguinte, para realizarmos

Dois ou mais vetores possuem a mesma direção quando a soma vetorial $R = a + b + c + d$, bastaria procedermos

são paralelos. Logo, apenas os vetores velocidade dos de forma análoga, isto é, sempre desenhar a origem do

carros B, C e D possuem a mesma direção. Para que dois vetor seguinte na extremidade do vetor anterior, tomando o

ou mais vetores tenham o mesmo sentido, esses devem cuidado de não alterar os módulos, as direções e os sentidos

estar na mesma direção e devem estar orientados para o dos vetores. O vetor resultante dessa operação seria um vetor,

mesmo lado. Assim, temos que apenas os vetores cuja origem seria a origem de a e cuja extremidade seria a v e $v_{B,D}$

possuem o mesmo sentido. Sabemos, também, que dois extremidade de d , conforme a figura a seguir.

vetores possuem módulos diferentes quando os segmentos

de reta que os representam possuem comprimentos b e c diferentes. Como os vetores $\vec{v}_A$, $\vec{v}_B$ e $\vec{v}_C$ possuem o mesmo comprimento, as velocidades de A , B e C possuem o mesmo módulo. Já o vetor $\vec{v}_D$ possui módulo

menor que os demais. Dois vetores são iguais quando

possuem mesmo módulo, direção e sentido. Tendo em **2º método:**

Paralelogramo

vista os comentários anteriores, temos que as afirmativas

corretas são A e B. A soma vetorial $\vec{d} = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$ realizada, pelo método do

Adição vetorial

paralelogramo, é feita desenhando os vetores $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$ com a

mesma origem e traçando um paralelogramo a partir desses

vetores. O vetor soma $\vec{d}$ terá como origem a origem dos vetores

Assim como as grandezas escalares, as grandezas vetoriais $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$, como extremidade, a interseção dos dois segmentos

também estão submetidas a regras de operações matemáticas, $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$ paralelos aos vetores $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$. Veja a figura a seguir: $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$ como adição, subtração, multiplicação, etc. Estudaremos

dois processos para a realização de adições vetoriais:

$\vec{d}_1 + \vec{d}_1 = \vec{d}$

o método da poligonal ou o método do paralelogramo.

Consideremos dois vetores deslocamento, $\vec{d}_1$ e $\vec{d}_2$, mostrados

na figura a seguir. $\vec{d}_1 + \vec{d}_2$

Introdução à Cinemática vetorial

Obviamente, os dois métodos de soma vetorial apresentados Várias são as situações físicas nas quais encontramos

devem conduzir ao mesmo resultado, isto é, o vetor d obtido uma operação vetorial como a mencionada nesse segundo

pelos dois métodos deve ter o mesmo módulo, a mesma exemplo. Um barco subindo um rio contra a correnteza, um

direção e o mesmo sentido. Quando desejarmos somar mais avião movendo-se no sentido oposto ao do vento ou uma

de 2 vetores, o método da poligonal deverá ser utilizado, pessoa andando na “contramão” de uma escada rolante

pois o método do paralelogramo somente permite somar 2 são exemplos de situações cotidianas em que a velocidade

vetores de cada vez. Vejamos agora três exemplos numéricos resultante é obtida por meio da soma de dois vetores

associados à soma de vetores. Sejam os vetores velocidade com mesma direção e sentidos opostos. s e s_1 s_2 mostrados a seguir, que representam o deslocamento de uma Suponha que a velocidade de um barco imprimida pelo seu

pessoa, com módulos iguais a $4u$ e $3u$, respectivamente. motor seja de 25 km/h , e que o barco se encontra subindo

A escala utilizada para representar os vetores é de 1 cm o rio, cuja correnteza apresenta uma velocidade de valor

para cada $2u$ ($u =$ unidade arbitrária). igual a 5 km/h . Uma pessoa na margem do rio observará o

barco mover-se a uma velocidade de 20 km/h , uma vez que

1º exemplo: vetores de mesma direção e de mesmo os vetores velocidade do barco e da correnteza apresentam

mesma direção e sentidos opostos. É por isso que em

sentido

uma viagem de barco entre Manaus e Belém gasta-se,

s aproximadamente, 4 dias na ida, enquanto que, na volta, $2s + s_2$ gasta-se, aproximadamente, 5 dias de viagem.

s_3 exemplo: vetores perpendiculares entre si

s_1

Considere agora duas pessoas arrastando um objeto

Operação: por meio de duas cordas que formam um ângulo de 90°

$$= s + s_1 + s_2$$

entre si, sendo que uma pessoa exerce uma força de 4 N e

Módulo de $s = |s| = s = s + s = 4u + 3u = 7u$ outra, uma força de 3 N. Qual o valor da força resultante?

O diagrama a seguir representa a situação descrita.

Esse exemplo pode ser aplicado em várias situações físicas.

Utilizando os dois métodos de soma de vetores anteriormente

FÍSICA

Quando um boxeador aplica um soco em seu oponente, ele

apresentados,
temos:

não move apenas o seu braço, mas também o seu tronco,

ou seja, a velocidade do soco aplicado é resultado da soma

vetorial da velocidade do tronco com a velocidade do braço. Método do paralelogramo O resultado é... muita dor! s_2

V S1

Braço

V VTronco VBraço

Tronco 1 s s Método da

VTotal S2 poligonal

S1

O mesmo processo ocorre quando andamos em uma escada rolante no mesmo sentido do movimento da escada, Operação:
 $s = s_1 + s_2$

ou quando um barco desce um rio a favor da correnteza. 4 Módulo de 2
 $s = |s| = s = s_1 + s_2 = 3 + 2 = 5 \text{ N}$ Nesses casos, devemos somar os módulos das velocidades para encontrar o módulo da velocidade resultante. Observe que os dois métodos de soma vetorial conduzem à

mesma resposta: o vetor resultante possui o mesmo módulo,

2º exemplo: vetores de mesma direção e de sentidos a mesma direção e o mesmo sentido, qualquer que seja o

processo utilizado para realizar a soma. A soma de dois vetores opostos

perpendiculares entre si é um processo muito útil, por exemplo,

s2 s quando desejamos determinar a velocidade resultante de
1 um barco em relação à margem de um rio, quando o barco pretende atravessar o rio de uma margem a outra.

s s s Considere um barco atravessando um rio, cuja velocidade 2

1 da correnteza é $v = 6 \text{ km/h}$. O barco possui um motor que

Operação: $s = s_1 + s_2$ do rio, com velocidade de módulo v o impulsiona em uma direção perpendicular às margens $b = 8 \text{ km/h}$, em relação

Módulo de $\vec{s}$ à água, como mostra a figura a seguir. $s = |\vec{s}| = s = s$
 $-s = 4 \text{ u} - 3 \text{ u} = 1 \text{ u}$

Editora Bernoulli 5

Frente A Módulo 03

y

$\vec{V} = \vec{V}_x + \vec{V}_y$

$\vec{V}_{y \text{ res}}$

V_b

$V_x \hat{x}$



Os vetores $\vec{v}_x$ e $\vec{v}_y$, resultantes da decomposição do vetor $\vec{v}$



são denominados componentes ortogonais do vetor $\vec{v}$ ou projeções do vetor $\vec{v}$ nos eixos x e y , respectivamente. É importante ressaltar que, ao decompor o vetor $\vec{v}$, este

vetorial da velocidade do barco em relação à água, v_y , com a v_b do vetor v podem ser encontrados utilizando-se as relações velocidade da correnteza em relação à margem, barco em relação à margem, v , basta realizarmos a soma res seus componentes v e . Os módulos dos componentes x Para determinarmos o módulo da velocidade resultante do deixa de existir. Ou seja, ou temos o vetor v , ou temos



v . Realizando c trigonométricas nos triângulos retângulos:



tal soma vetorial, encontramos a velocidade resultante do barco em relação à água, cujo módulo é de 10 km/h.

são diferentes de 0 Quando desejamos somar dois vetores, cujos ângulos $v_y \sin \theta = \Rightarrow v_y = v \cdot \sin \theta^\circ$, 180° ou 90° , devemos usar a Lei dos v_y Cossenos, cuja utilização não será descrita neste módulo. $v_x \cos$

$\theta = \Rightarrow v = v \cdot \cos \theta$ $v_x \theta$ Decomposição de um vetor v_x

Considere o vetor s representado a seguir e os eixos x e y , que se cruzam no ponto O , origem do vetor s .

y EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Um jogador de tênis efetua um saque, imprimindo na bola uma velocidade de 30 m/s, como ilustra a figura.

Calcular a componente da velocidade responsável pelo

O x deslocamento horizontal da bola.

Dados: $\sin 60^\circ = 0,86$ e $\cos 60^\circ = 0,5$

Tendo em vista o método do paralelogramo, podemos supor que o vetor $v = 30 \text{ m/s}$ é o resultado da soma vetorial de dois vetores s_x e s_y , contidos nos eixos x e y , respectivamente. 60° x y

y



s_x



O x **Resolução:**



s_y



A componente da velocidade responsável pelo



Os vetores deslocamento horizontal da bola é a projeção do vetor s e são denominados componentes do vetor s_x e s_y



na direção dos eixos x e y , respectivamente. velocidade sobre o eixo horizontal. Seu módulo é

determinado pela relação:

Muitas vezes é útil decompor um vetor em seus vetores

componentes. Existem vários tipos de decomposição de $v = v \cdot \cos 60^\circ$
 $= 30 \text{ m/s} \cdot \cos 60^\circ = 30 \text{ m/s} \cdot 0,5 = 15 \text{ m/s}_x$



vetores e, neste módulo, descreveremos a **decomposição**. Vimos que as grandezas deslocamento e velocidade, entre

ortogonal, na qual um vetor é decomposto em suas partes ortogonais, são grandezas vetoriais. Vamos agora ampliar nosso

conhecimento, segundo eixos perpendiculares entre si. entendimento a respeito dessas grandezas.

6 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática vetorial

DESLOCAMENTO VETORIAL Módulo:

igual ao módulo da velocidade escalar instantânea do ponto P.

Os conceitos de distância percorrida e de deslocamento **Direção:** tangente à trajetória do ponto P.

são diferentes. Por exemplo, ao realizarmos uma volta

Sentido: o mesmo sentido do movimento do ponto P.

completa ao mundo, tendo como ponto de partida e de

chegada a mesma posição, nosso deslocamento será nulo, Tendo em vista as características anteriores, conclui-se

em contrapartida à distância percorrida, que não será nula. um importante fato: o vetor velocidade de um corpo em

movimento é sempre tangente à trajetória do corpo.

Denominamos de deslocamento vetorial s o vetor cuja

origem coincide com o ponto de partida do movimento de um

EXERCÍCIO RESOLVIDO corpo, e cuja extremidade coincide com o ponto de chegada

do movimento desse. Considere um carro viajando de uma

cidade A para outra cidade B, como representado na figura **03.** (UFMG)

a seguir, em que s representa o deslocamento vetorial e $A B d$ representa a distância percorrida.

C

d

D

Rodovia

Essa figura mostra um carro que, fazendo uma curva, perde a calota da roda traseira direita. A figura indica

A s essa situação, vista de cima, no instante em que a calota B se desprende.

Observe que, nessa situação, o módulo do vetor Desprezando-se a resistência do ar, pode-se afirmar que, **FÍSICA**

deslocamento s é menor que a distância percorrida. Isso imediatamente após a calota se soltar, ela se moverá,

evidencia um fato importante: o módulo do deslocamento aproximadamente, em direção ao ponto

vetorial nem sempre coincide com o valor da distância A) A. C) C.

percorrida d. Esses só serão coincidentes quando a trajetória B) B. D) D. for retilínea.

Resolução:

Observe que o movimento do carro é um movimento

VELOCIDADE VETORIAL

curvilíneo, como aquele mostrado na figura do esmeril.

O vetor velocidade do carro é corretamente representado

por um vetor que seja tangente à trajetória desse e no

A imagem seguinte mostra um esmeril lançando mesmo sentido de seu movimento, conforme ilustra a

fagulhas metálicas que se encontram a altas temperaturas. figura a seguir:

Essas fagulhas são pedacinhos incandescentes que se A B

desprendem tanto do metal lixado quanto do esmeril. v

C



Esmeril

vy / Creativ

. Na P Estando a calota, inicialmente, presa ao carro, temos que .s

U

o vetor velocidade dela será idêntico ao vetor velocidade

Observe que o esmeril está girando, e a trajetória das do carro, até o momento em que essa se desprenda do

fagulhas é tangente à trajetória dos pontos do esmeril, que carro. Logo, quando a calota se desprender, seu vetor

estão em contato com o metal. Uma fagulha que se solta velocidade estará orientado na direção mostrada na

do esmeril no ponto P apresenta um vetor velocidade com figura anterior. Assim, a calota se moverá em direção

as seguintes características: ao ponto A.

Editora Bernoulli 7

Frente A Módulo 03

MUDANÇAS DE REFERENCIAL ônibus

em relação ao solo, v' . Como esses dois vetores velocidade estão na mesma direção e no mesmo sentido,

Durante um longo tempo da história da humanidade, o módulo dessa soma vetorial é igual à soma dos módulos

pensou-se que a Terra fosse o centro do Universo. Era natural dos vetores, ou seja:

tomá-la como referência para classificar os objetos como $|v| = |v''| + |v'| \Rightarrow v = v'' + v'$ estando em movimento ou em repouso. Hoje sabemos que

a Terra gira ao redor do Sol e que este, por sua vez, arrasta As situações anteriormente descritas podem ser associadas

todos os planetas do sistema solar em seu movimento ao desenho da seguinte maneira:

ao redor do centro de nossa galáxia. A nossa galáxia,

a Via-Láctea, por sua vez, está em movimento em relação

Observador (em R₁) R₂ Objeto

a outras galáxias. Enfim, não existe um local, um sistema

de referência absoluto, como imaginaram Newton e outros

cientistas. No entanto, como usualmente trabalhamos com Pessoa na margem de Rio com Barco um rio correnteza situações que envolvem pequenos intervalos de tempo

(segundos, dias, meses), podemos considerar as estrelas

como um sistema de referência inercial. Pessoa no solo Corrente de ar Avião

Ao mudarmos de um sistema de referência para outro,

devemos tomar alguns cuidados para que não incorramos Pessoa no piso de um Pessoa correndo Escada rolante *shopping* na escada em erros. Faremos uma descrição simplificada de alguns

aspectos dessa mudança, utilizando situações cotidianas:

uma pessoa nas margens de um rio e outra pessoa dentro No próximo tópico, apresentaremos alguns exemplos

de um barco medindo a velocidade desse barco; uma pessoa numéricos de situações que envolvem uma mudança de

no piso de um *shopping* e outra pessoa na escada rolante referencial.

observando o deslocamento de uma terceira pessoa que

sobe correndo a escada rolante; o piloto de um avião e a

torre de comando comunicando-se em um voo, diante de

COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

uma forte corrente de ar, etc.

Situações envolvendo mudanças de referencial, de uma Existem várias situações cotidianas nas quais um objeto

forma geral, podem ser descritas da seguinte maneira: possui uma velocidade resultante, que é a soma vetorial de

Considere um sistema de referência R e outro sistema de 1 duas velocidades componentes, como um barco se movendo

referência R , que se move com velocidade v' em relação a R , 2 1 em um rio, uma pessoa se movendo no interior de um ônibus

e um corpo qualquer, que se desloca com velocidade v'' em movimento, uma pessoa caminhando em uma escada

em relação ao referencial R . Qual será a velocidade v do 2 rolante, etc. Vejamos um exemplo numérico de um barco

corpo em relação a um observador que se encontra em R ? 1 atravessando um rio. A figura a seguir representa um exemplo de situações

O barco da figura a seguir, orientado perpendicularmente como essa.

às margens de um rio, é impulsionado pelos motores, que imprimem ao barco uma velocidade $v = 4 \text{ km/h}$ (velocidade v própria do barco). Simultaneamente, as águas arrastam o barco

”

v' rio abaixo, com velocidade $v = 3 \text{ km/h}$, em relação às margens c R_2 (velocidade de arrastamento). O movimento do barco é

R1 resultado da superposição de dois movimentos independentes:



um, na direção **perpendicular às margens** (direção de v) e v_b

Nessa figura, o solo representa o referencial R, o ônibus outro, na **direção da correnteza** (direção de v). v_c

representa o referencial R, e a pessoa dentro do ônibus é v_c Sendo o movimento do barco o resultado da combinação

o corpo que se move em relação ao ônibus. A velocidade de dois movimentos retilíneos uniformes perpendiculares

da pessoa em relação ao solo, v , pode ser obtida por entre si, temos que a trajetória resultante é retilínea,

meio da soma vetorial do vetor velocidade da pessoa já que não há aceleração atuando sobre o barco em nenhuma

em relação ao ônibus, v'' , com o vetor velocidade do direção, e oblíqua em relação às velocidades componentes.

8 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática vetorial

v_v = velocidade resultante = velocidade do barco v_b do barco em relação às

EXERCÍCIO RESOLVIDO

em relação às águas

margens 04. Na situação representada na figura anterior, supondo a

v_b largura L do rio igual a 2,0 km, determinar

v_r A) qual é o tempo de travessia do rio.

o B) qual é o deslocamento do barco rio abaixo.

v_c C) qual é a velocidade resultante do barco em relação às margens.

Margem Margem

(a) **Resolução:** (c)

A) O tempo de travessia do rio é determinado apenas por V_b ,

v = velocidade da correnteza v_c componente da velocidade do barco perpendicular $v = v + v$ em relação às margens v_b v_c às margens. Na direção perpendicular às margens,

o barco percorrerá uma distância de 2,0 km a uma velocidade de 4 km/h. Assim:

$$v = v_r$$

$$v_c L L 2,0, v = \Rightarrow \Delta t = = \therefore \Delta t =$$

$$\Delta t = \frac{2,0}{4} = 0,5, h$$

B) O deslocamento do barco rio abaixo é determinado

Margem Margem por V_b , componente da velocidade do barco paralela v_c

(b) (d) às margens. Lembre-se de que as duas velocidades atuam simultaneamente sobre o barco durante o tempo

Embora o barco se oriente perpendicularmente às margens,

a correnteza o arrasta rio abaixo, e a travessia se dará segundo $\Delta t = 0,5$ h. Assim:

a direção da velocidade resultante. $d = v_c \Delta t = 3,0 \cdot 0,5 \therefore d = 1,5$ km Δt

o efeito da correnteza é unicamente deslocar (arrastar) Como as velocidades v e v_c são perpendiculares entre si, v_b v_c C) A velocidade

resultante do barco, em relação às **FÍSICA** margens, é determinada por meio da soma vetorial da

o barco rio abaixo, não afetando o movimento na direção velocidade do

barco em relação à correnteza v_b , com a perpendicular à correnteza. De forma análoga, a velocidade da correnteza em relação à margem v_c . Logo:

de propulsão do barco não modifica o movimento deste rio $v_r = v_b + v_c$ abaixo (direção da correnteza).

$$v_2 = v_2 + v_2 = 42 + 32 = 25 \text{ r b c}$$

$$\text{Margem } v = \sqrt{25} \text{ km/h} = 5 \text{ km/h}$$

v_r EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

$$v_b \theta L$$

01. (UFC-2006) Analisando a disposição dos vetores BA, EA, CB, CD e DE, conforme figura a seguir, assinale a

v alternativa que contém a relação vetorial **CORRETA.** $= v + v_r b c$

B

v : velocidade do barco em relação às águas (velocidade b

própria do barco), $v = 4 \text{ km/h}$. $b A E$

v : velocidade da correnteza em relação às margens $c C$ (velocidade de arrastamento), $v = 3 \text{ km/h}$. c

D

v : velocidade resultante do barco em relação às margens, r

$$v = 5 \text{ km/h. A) } CB + CD + DE = BA + EA \text{ r}$$

A velocidade resultante, $v B) BA + EA + CB = DE + CD \text{ r}$, tem como componentes, $v e b v_c$

perpendiculares entre si. Apenas a componente C) $EA - DE + CB = BA +$

CD v afeta o b tempo de travessia do rio. A componente v determina o
D) $EA - CB + DE = BA - CD$ c

deslocamento rio abaixo. E) $BA - DE - CB = EA + CD$

Editora Bernoulli 9

Frente A Módulo 03

02. (UNITAU-SP) Uma grandeza física vetorial fica **EXERCÍCIOS** **PROPOSTOS**

perfeitamente definida quando dela se conhecem

A) valor numérico, desvio e unidade. **01.** (UNESP-SP) Nas provas dos 200 m rasos, no atletismo,

B) valor numérico, desvio, unidade e sentido.

os atletas partem de marcas localizadas em posições

C) desvio, direção, sentido e unidade. diferentes na parte curva da pista e não podem sair de

D) valor numérico, unidade, direção e sentido. suas raias até a linha de chegada. Dessa forma, podemos

03. afirmar que, durante a prova, para todos os atletas, o

(UFC) A figura adiante mostra o mapa de uma cidade em

que as ruas retilíneas se cruzam perpendicularmente, e A) espaço percorrido é o mesmo, mas o deslocamento

cada quarteirão mede 100 m. Você caminha pelas ruas e a velocidade vetorial média são diferentes.

a partir de sua casa, na esquina A, até a casa de sua B) espaço percorrido e o deslocamento são os mesmos,

avó, na esquina B. Dali, segue até sua escola, situada mas a velocidade vetorial

média é diferente.

na esquina C. A menor distância que você caminha e a C) deslocamento é o mesmo, mas o espaço percorrido

distância em linha reta entre sua casa e a escola são, e a velocidade vetorial média são diferentes.

respectivamente,

D) deslocamento e a velocidade vetorial média são iguais,
mas o espaço percorrido é diferente.

C

100 m E) espaço percorrido, o deslocamento e a velocidade
B vetorial média são iguais.

02. (UFJF-MG–2007) Um homem parado numa escada rolante

A leva 10 s para descê-la em sua totalidade. O mesmo D
homem leva 15 s para subir toda a escada rolante de

A) 1 800 m e 1 400 m. D) 1 200 m e 800 m. volta, caminhando contra o
movimento dela. Quanto tempo

B) 1 600 m e 1 200 m. E) 1 000 m e 600 m. o homem levará para descer a mesma
escada rolante,

C) 1 400 m e 1 000 m. caminhando com a mesma velocidade com que subiu?

A) 5,00 s C) 10,00 s E) 7,50 s

04. (Mackenzie-SP) Num mesmo plano vertical, perpendicular B) 3,75 s D) 15,00 s
à rua, temos os segmentos de reta AB e CD, paralelos

entre si. Um ônibus se desloca com velocidade
constante **03.** (UFMG) Um menino flutua em uma boia que está se

de módulo v_1 , em relação à rua, ao longo de AB, no movimentando, levada pela
correnteza de um rio. Uma

sentido de A para B, enquanto um passageiro se desloca

outra boia, que flutua no mesmo rio a uma certa distância

no interior do ônibus, com velocidade constante de

módulo v_2 , em relação ao veículo, ao longo de CD, A posição das duas boias e o sentido da correnteza estão do menino, também está descendo com a correnteza.

no sentido de C para D. Sendo $v_1 > v_2$, o módulo da indicados nesta figura.

velocidade do passageiro em relação ao ponto B da rua é

Correnteza Correnteza

D C L L M M N N

K K

A B

A) $v_1 + v_2$. C) $v_2 - v_1$. E) v_2 .

B) $v_1 - v_2$. D) v_1 .

Considere que a velocidade da correnteza é a mesma

05. em todos os pontos do rio. Nesse caso, para alcançar a (FEI-SP) Um barco movido por motor desce 120 km de um

rio em 2 h. No sentido contrário, demora 3 h para chegar segunda boia, o menino deve nadar na direção indicada

ao ponto de partida. Qual é a velocidade da água do rio? pela linha

Sabe-se que, na ida e na volta, a potência desenvolvida A) K.

pelo motor é a mesma. B) L.

A) 15 km/h C) 30 km/h E) 48 km/h C) M.

B) 20 km/h D) 10 km/h D) N.

10 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática vetorial

04. (UNESP-SP) Um caminhoneiro efetuou duas entregas **08.** (UFC) M e N são vetores de módulos iguais ($|M| = |N| = M$).

de mercadorias e, para isso, seguiu o itinerário indicado O vetor M é fixo, e o vetor N pode girar em torno do ponto O

pelos vetores deslocamento d_1 e d_2 ilustrados na figura. (veja figura) no plano formado por M e N. Sendo $R = M + N$,

d_1 indique, entre os gráficos a seguir, aquele que pode

$$= 10 \text{ km}$$

representar a variação de $|R|$ como função do ângulo θ entre M e N.

N

$$d = 6 \text{ km}$$

$$30^\circ \text{ O } \theta$$

M

Para a primeira entrega, ele deslocou-se 10 km e para A) 2M D) 2M

a segunda entrega, percorreu uma distância de 6 km. 0 π 2 π Ao final da segunda entrega, a distância a que o 0 -2M π 2 π

caminhoneiro se encontra do ponto de partida é B) 2M E) 2M

A) 4 km. C) 2 $\sqrt{19}$ km. E) 16 km.

B) 0 0 8 km. D) 8 $\sqrt{3}$ km. π 2 π π 2 π

05. (PUC Minas) Você e um amigo resolvem ir ao último 0 π C) 2M

andar de um edifício. Vocês partem juntos do primeiro -2M 2 π

andar. Entretanto, você vai pelas escadas e seu amigo,

pelo elevador. Depois de se encontrarem na porta do

09. (UFMG) Tomás está parado sobre a plataforma de um

elevador, descem juntos pelo elevador até o primeiro brinquedo, que gira com velocidade angular constante.

andar. É **CORRETO** afirmar que Ele segura um barbante, que tem uma pedra presa na

A) o seu deslocamento foi maior que o de seu amigo. outra extremidade, como mostrado nesta figura:

B) o deslocamento foi igual para você e seu amigo. **FÍSICA**

C) o deslocamento de seu amigo foi maior que o seu.

D) a distância que seu amigo percorreu foi maior que P

a sua.

06. (PUC Rio) Um veleiro deixa o porto navegando 70 km

em direção leste. Em seguida, para atingir seu destino, Quando Tomás passa pelo ponto P, indicado na figura,

navega mais 100 km na direção nordeste. Desprezando a a pedra se solta do barbante. Assinale a alternativa em

curvatura da Terra e admitindo que todos os deslocamentos que **MELHOR** se representa a trajetória descrita pela

são coplanares, determine o deslocamento total do veleiro pedra, logo após se soltar, quando vista de cima.

em relação ao porto de origem.

(Considere $A) \sqrt{2} = 1,40$ e $\sqrt{5} = 2,20$)

A) 106 km C) 154 km E) 217 km P

B) 34 km D) 284 km

07. (UERJ–2010) Dois automóveis, M e N, inicialmente a B)

50 km de distância um do outro, deslocam-se com P

velocidades constantes na mesma direção e em sentidos

opostos. O valor da velocidade de M, em relação a um

ponto fixo da estrada, é igual a 60 km/h. Após 30 minutos, C)

os automóveis cruzam uma mesma linha da estrada.

Em relação a um ponto fixo da estrada, a velocidade de N P

tem o seguinte valor, em quilômetros por hora:

A) 40 km/h

D)

B) 50 km/h

P

C) 60 km/h

D) 70 km/h

Editora Bernoulli 11

Frente A Módulo 03

10. (UERJ) **12.** (PUC Rio–2006) Um avião em voo horizontal voa a favor

75 km/h do vento com velocidade de 180 km/h em relação ao

220 km/h

Pinheirinho solo. Na volta, ao voar contra o vento, o avião voa com
Cotovelo

180 km/h 170 km/h velocidade de 150 km/h em relação ao solo. Sabendo-se

Laranjinha

Junção que o vento e o módulo da velocidade do avião (em relação

Laranja ao ar) permanecem constantes, o módulo da velocidade 220 km/h 180 km/h

do avião e do vento durante o voo são, respectivamente,

A) 165 km/h e 15 km/h.

Descida 300 km/h

310 km/h do Lago B) 160 km/h e 20 km/h.

C) 155 km/h e 25 km/h.

S do Senna

90 km/h Reta Oposta D) 150 km/h e 30 km/h.

130 km/h Curva E) 145 km/h e 35 km/h.

do Sol

O GLOBO, 31 mar. 2002. (Adaptação). 13. (UFSM-RS) Um rio de largura l é atravessado por um barco

A velocidade vetorial média de um carro de Fórmula 1, de maneira perpendicular à margem, com velocidade

em uma volta completa do circuito, corresponde a constante $v \cdot b$

A) 0. v_r

B) 24.

C) 191.

D) 240.

v_b

11. (PUCPR) A figura representa um avião, que mergulha

fazendo um ângulo de 30° com a horizontal, seguindo Considere:

uma trajetória retilínea entre os pontos A e B. No solo, $v =$ velocidade da água do rio em relação às margens. r

considerado como plano horizontal, está representada

a sombra da aeronave, projetada verticalmente, e um $v =$ velocidade gerada pelo motor do barco em relação b

às margens do rio.

ponto de referência C.

O tempo que o barco leva para atravessar o rio é

30° A) maior quando a velocidade v aumenta. r

A B) menor quando a velocidade v aumenta. r

B C) independente da velocidade v_r .

D) maior quando a velocidade v_r diminui.

E) menor quando a velocidade v diminui. r

Sombra C

14. (PUC-Campinas-SP) Um barco sai de um ponto P para

Considere as afirmativas que se referem ao movimento da atravessar um rio de 4,0 km de largura. A velocidade da

aeronave no trecho AB e assinale a alternativa **CORRETA**. correnteza, em relação às margens do rio, é de 6,0 km/h.

A) A velocidade do avião em relação ao ponto C é maior A travessia é feita segundo a menor distância PQ,

que a velocidade de sua sombra, projetada no solo, como mostra o esquema representado a seguir, e dura

em relação ao mesmo ponto. 30 minutos.

B) A velocidade do avião é nula em relação à sua sombra Q
projetada no solo.

C) A velocidade do avião em relação ao ponto C é igual
à velocidade de sua sombra, projetada no solo em
relação ao mesmo ponto. Correnteza

D) A velocidade do avião em relação à sua sombra

P

projetada no solo é maior que a velocidade de sua

sombra em relação ao ponto C. A velocidade do barco em relação à correnteza,

E) A velocidade da sombra em relação ao ponto C em km/h, é de

independe da velocidade do avião. A) 4,0. B) 6,0. C) 8,0. D) 10. E) 12.

12 Coleção Estudo

Introdução à Cinemática vetorial

15. (UFSC) Descendo um rio em sua canoa, sem remar, dois **17.** (UEL-PR-2010)
Observe as figuras a seguir:

pescadores levam 300 segundos para atingir o seu ponto



de pesca, na mesma margem do rio e em trajetória
retilínea. Partindo da mesma posição e remando, sendo a
velocidade da canoa, em relação ao rio, igual a 2,0 m/s,
eles atingem o seu ponto de pesca em 100 segundos. Após
a pescaria, remando contra a correnteza do rio, eles gastam
600 segundos para retornar ao ponto de partida.

Ponto de Ponto de v partida (v_{CR}) pesca

d

Considerando que a velocidade da correnteza $v_{(CR)}$ é Ponto de fuga
constante, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

LH

01. Quando os pescadores remaram rio acima, a velocidade

da canoa, em relação à margem, foi igual a 4,00 m/s.

02. Não é possível calcular a velocidade com que os pescadores retornaram ao ponto de partida, porque a velocidade da correnteza não é conhecida.

04. Quando os pescadores remaram rio acima, a velocidade da canoa, em relação ao rio, foi de 1,50 m/s.

08. A velocidade da correnteza do rio é 1,00 m/s. **FÍSICA**

16. Como a velocidade da canoa foi de 2,0 m/s, quando os pescadores remaram rio abaixo, então, a distância do ponto de partida ao ponto de pesca é 200 m. Disponível em:

32. Não é possível determinar a distância do ponto de um ponto-de-fuga >. Acesso em: 20 ago. 2009.

partida até o ponto de pesca. Considere que você esteja assistindo a um filme no qual

64. O ponto de pesca fica a 300 metros do ponto de um caminhão percorre uma estrada, como a da foto,

partida. em direção ao ponto de fuga. Sabe-se que a traseira

Soma () desse caminhão mede 2 m de largura. Fazendo uma

análise quadro a quadro do filme, chega-se às seguintes

16. (Mackenzie-SP) Um passageiro em um trem, que se move conclusões:

para sua direita em movimento retilíneo e uniforme,

- Uma boa aproximação para o ângulo formado pelas

observa a chuva através da janela. Não há ventos e

linhas que partem dos extremos superiores da traseira

as gotas de chuva já atingiram sua velocidade limite.

do caminhão até o ponto de fuga é de 5,2°.

O aspecto da chuva observado pelo passageiro é

- Após um segundo de movimento, o tamanho aparente

A) D)

da traseira do caminhão reduziu-se à metade.

Sabendo que $\operatorname{tg}(2,6^\circ) \approx 0,045$, a velocidade média

Janela Janela do caminhão, nesse intervalo de tempo, é de,

B) E) aproximadamente,

A) 12 km/h.

Janela Janela B) 25 km/h.

C) C) 40 km/h.

D) 59 km/h.

Janela E) 80 km/h.

Editora Bernoulli 13

Frente A Módulo 03

SEÇÃO ENEM 03. Durante uma aula de Educação Física, uma bola é chutada obliquamente em relação ao solo. Uma estudante

representa vetorialmente a velocidade inicial (v_0) da bola

01. A figura a seguir foi retirada de uma página da Internet e suas componentes ortogonais. A representação feita

relacionada ao estudo de conceitos de Física. por ela é mostrada na figura a seguir.

$$5 \ 5 \ 10 = + \ v_0$$

$$5 \ -5 \ v + = 0_{0y}$$

$$5 \ 10 \ 15 \ 0 + =$$

Pode-se associar a figura com o seguinte tema:

A) Deslocamentos sucessivos Ela distribui seu diagrama a 5 colegas de grupo e cada

uma das colegas elabora um comentário sobre o esquema.

B) Intervalos de tempo

Carolina: Os módulos dos vetores v_{0x} e v_{0y} podem se

C) Somatório de volumes tornar maiores que o módulo do vetor v_0 , caso o valor

D) Velocidade relativa de veículos de θ varie.

E) Somatório de massas **Marina:** A soma dos módulos dos vetores v_{0x} e v_{0y} sempre será igual ao valor do módulo do vetor v_0 .

02. A utilização dos rios como via de transporte / navegação **Fernanda:** O vetor v pode ser obtido por meio da soma v_0

sempre foi presente na história da humanidade. No Brasil, vetorial do vetor v com o vetor v_0 .

o transporte fluvial é muito utilizado na região Norte **Isabela:** Apesar de o diagrama mostrar três vetores, os

devido ao elevado número de rios e devido à escassez vetores v_x , v_y e v_0 não possuem existência concomitante.

de rodovias. Uma característica positiva desse meio de **Larissa:** Esse diagrama não poderia ser utilizado para

transporte é o baixo custo e o baixo impacto ambiental. representar outras grandezas vetoriais.

Um dos principais problemas desse tipo de transporte O comentário correto foi feito pela estudante

está ligado à irregularidade da superfície (topografia),

A) Carolina. C) Fernanda. E) Larissa.

que deve ser plana, além de levar em conta aspectos de

B) Marina. D) Isabela.

caráter natural, como os períodos de cheias e de vazantes

dos rios, ambas relacionadas ao

volume de água que GABARITO sofrem

variações e que interferem na navegação. Assim

como as estradas, os rios apresentam suas regras de

tráfego para os barcos. Barcos que descem o rio o fazem **Fixação**

movimentando-se sempre no meio do rio, enquanto que

os barcos que sobem o rio o fazem trafegando sempre 01. D 02. D 03. C 04. B 05. D

próximo às margens. A
característica dos rios que melhor
Propostos explica as regras do tráfego descritas é

A) a diferença do nível de água do rio entre o período 01. A 06. C 11. A 16. B
de cheias e o período de seca. 02. B 07. A 12. A 17. C

B) a menor velocidade da água do rio próximo à margem 03. A 08. B 13. C
em comparação à posição central. 04. C 09. D 14. D

C) o desgaste desigual das margens direita e esquerda 05. B 10. A 15. Soma = 76
dos rios devido à rotação da Terra.

D) o desnível das diferentes partes do rio no seu curso **Seção**
Enem

superior, intermediário e inferior.

01. A 02. B 03. D

E) o fato de os rios apresentarem maior profundidade
do seu leito na parte central que nas margens.

14 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO

FRENTE Lançamento horizontal e

04 A lançamento oblíquo

Desde o momento no qual nossos ancestrais primitivos A altura inicial das moedas é a mesma, e o momento em

lançaram a primeira pedra contra algum animal que os que elas iniciam o movimento também é o mesmo, mas qual

ameaçava, o ser humano se preocupou em compreender o moeda chegará primeiro ao solo? Pense um pouco antes de

movimento dos objetos por ele lançados: pedras, flechas, realizar a atividade.

lanças, posteriormente, balas de canhão e mísseis. Filósofos O som emitido pelas moedas ao tocarem o chão poderá

debateram sobre o assunto e várias explicações surgiram lhe fornecer uma pista para o que acontece: se o barulho for

para responder às perguntas: por que os objetos caem? único, as duas moedas chegaram ao solo no mesmo instante,

Como caem? O que determina o tempo de queda de um caso contrário, elas chegaram ao solo em momentos distintos.

objeto? Como devo lançar um objeto para que ele possa

ir o mais longe possível? Neste módulo, no entanto, uma Essa experiência, apesar de simples, fornece indícios para

discussão histórica sobre o lançamento de projéteis não será um importante enunciado feito por Galileu Galilei, denominado

de **princípio da independência dos movimentos**, que

feita. Estudaremos o lançamento de projéteis do ponto de

afirma que dois movimentos perpendiculares entre si

vista físico e matemático, o que será útil para a resolução

ocorrem de forma independente um do outro. Uma aplicação de vários problemas.

desse princípio já foi verificada quando observamos que o intervalo de tempo gasto para um barco atravessar um

PRINCÍPIO DA INDEPENDÊNCIA rio

não depende da velocidade da correnteza, mas apenas da componente da velocidade do barco perpendicular à

margem do rio. Esse fato pode ser explicado pelo princípio

Iniciaremos o módulo com uma atividade simples de ser da independência dos movimentos, tendo em vista que

realizada, em casa ou na sala de aula. Nessa atividade, a componente da velocidade do barco perpendicular às

utilizaremos duas moedas, uma apoiada sobre uma mesa margens é também perpendicular à velocidade da correnteza.

horizontal e outra apoiada sobre uma régua, estando as duas Logo, o movimento do barco rio abaixo é independente do

moedas, inicialmente, à mesma altura em relação ao solo. movimento na direção perpendicular à margem, que é o

A partir da configuração inicial, mostrada na figura a seguir, movimento que determinará o tempo de travessia do barco.

as moedas são colocadas em movimento em um mesmo O mesmo princípio pode ser aplicado a uma situação

instante. Uma delas (moeda A) é simplesmente abandonada, análoga: a queda de duas esferas, uma solta na direção

caindo verticalmente para baixo, em direção ao solo, e a vertical e outra lançada horizontalmente, semelhantemente

outra (moeda B) é lançada horizontalmente, caindo a certa às moedas da atividade proposta no início deste módulo.

distância do pé da mesa. A figura mostra como a situação deve A figura seguinte ilustra essa situação. A figura mostra a

ser conduzida para que as duas moedas iniciem o movimento trajetória descrita pelas duas esferas, uma solta em queda

no mesmo instante. Bata na régua, na direção indicada livre e a outra lançada horizontalmente. pela seta, próximo ao ponto onde se encontra a moeda A.

Observação: No estudo que faremos, não consideraremos A régua tende a girar, fazendo com que a moeda A caia, os efeitos da resistência do ar. a partir do repouso, em movimento vertical, e que a moeda B seja lançada horizontalmente, descrevendo uma trajetória parabólica.

B

P

A





Frente A Módulo 04

A imagem anterior nos permite concluir que Se uma esfera é simplesmente solta, a partir de uma certa

altura, seu movimento é um movimento de queda livre,

1. o intervalo de tempo de queda é o mesmo para as

como mostrado na figura a seguir. Esse movimento é um

duas esferas;

movimento acelerado, o que indica que a distância percorrida,

2. ambos os movimentos são acelerados, possuindo o em intervalos de tempo iguais, aumenta cada vez mais.

mesmo vetor aceleração (mesmo módulo, direção e sentido);

3. uma trajetória é retilínea, enquanto a outra é

parabólica.

Diante das observações anteriores, surgem os seguintes questionamentos:

- Por que o intervalo de tempo de queda é o mesmo? A trajetória parabólica descrita pela esfera, quando esta

Como Galileu argumentou, o tempo de queda depende é lançada horizontalmente, é resultado da combinação do

somente do movimento das esferas na direção vertical. movimento horizontal (uniforme) com o movimento vertical

As duas esferas apresentavam a mesma velocidade (acelerado). Cada um dos movimentos é independente do

inicial na direção vertical, quando o movimento iniciou, outro, e seus efeitos, combinados, produzem a trajetória

$v = 0$. Portanto, como as esferas iniciam o movimento o_y parabólica da esfera.

à mesma altura, no mesmo instante, no mesmo local

(ou seja, submetidas ao mesmo vetor aceleração) e

com a mesma velocidade inicial na direção vertical,

elas devem cair ao mesmo tempo.

- Por que ambos os movimentos são acelerados? Ambas + =

as esferas estão sujeitas à gravidade e, ao desprezarmos

a influência da resistência do ar, observamos que

o valor da velocidade vertical das esferas aumenta

continuamente, já que a distância vertical percorrida

em um mesmo intervalo de tempo é crescente. Além As equações e as características vetoriais para os

disso, o espaço vertical percorrido por ambas as esferas movimentos mencionados já foram estudadas em módulos

é sempre o mesmo em qualquer intervalo de tempo. anteriores, devendo ser, agora, aplicadas conjuntamente.

Consequentemente, os valores das suas velocidades Na direção horizontal, como o movimento é uniforme,

são sempre iguais e, portanto, pode-se concluir que a o vetor velocidade permanece constante em módulo,

aceleração é a mesma para as duas esferas. direção e sentido. Na direção vertical, como o movimento

- Por que uma trajetória é retilínea, e a outra, parabólica? é uniformemente acelerado, o vetor velocidade possui

Para responder a essa questão, temos de decompor o direção vertical, sentido para baixo e módulo crescente, de

movimento da esfera que foi lançada horizontalmente. acordo com as equações já estudadas. O quadro a seguir

apresenta o vetor velocidade para cada um dos movimentos

Decomposição do movimento

componentes do movimento da esfera e as características associadas a eles.

Sabemos que, para alterar a velocidade de um objeto,

é necessária a ação de uma aceleração. Esse é um dos **Direção horizontal** **Direção vertical** fundamentos das Leis de Newton que estudaremos

posteriormente. Portanto, somente a ação de uma força pode alterar o módulo ou a direção da velocidade de um objeto.

Se não houvesse gravidade ou resistência do ar, uma esfera que rolasse sobre uma mesa e a abandonasse continuaria a se mover com velocidade constante, percorrendo distâncias iguais em intervalos de tempos iguais, apresentando um

movimento retilíneo uniforme.

Movimento uniformemente

Movimento uniforme

acelerado

$$d_x = v_x t \quad d_y = v_{0y} t + \frac{1}{2}(a_y t^2)$$

$$v_x = \text{constante} \quad v_y = v_{0y} + a_y t$$

$$a_x = 0 \quad a_y = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$$

16 Coleção Estudo

Lançamento horizontal e lançamento oblíquo

É importante observar que o vetor velocidade v de um

Lançamento oblíquo

corpo é sempre tangente à trajetória deste, em qualquer posição.

Em toda prova de arremesso, seja ela de dardo, de disco, de martelo ou de peso, os competidores sempre procuram arremessar os objetos quando estes formam um ângulo de 45° com a horizontal. É para esse valor de ângulo que um

v corpo arremessado percorre a maior distância horizontal, y comparativamente a corpos arremessados com velocidades v de mesmo módulo.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. (PUC Minas) A figura a seguir mostra uma esfera lançada e Commons com velocidade horizontal de 5,0 m/s de uma plataforma de altura $h = 1,8$ m.

v_0



Escuela Virtual de Deportes / Creativ

h O lançamento oblíquo nada mais é do que uma extensão

do lançamento horizontal estudado no tópico anterior. Nessa

FÍSICA

nova situação, o lançamento é feito com velocidade vertical

inicial diferente de zero. Dessa forma, devemos analisar o

x movimento vertical na subida e na descida, mas isso não

representará grande dificuldade, já que a descrição física e

Ela deve cair dentro do pequeno frasco colocado a uma matemática dos movimentos verticais de subida e descida

distância x do pé da plataforma. A distância x deve ser de,

são análogas.

aproximadamente,

A) 1,0 m.

B) 2,0 m.



C) 2,5 m.

D) 3,0 m.

E) 3,5 m.

Resolução:

O intervalo de tempo de queda da esfera, desde o instante em que ela abandona a plataforma até o instante em que ela cai dentro do pote, em uma trajetória parabólica, será igual ao intervalo de tempo que a esfera gastaria para chegar ao solo em um movimento vertical, em queda livre, de uma altura de 1,8 m. Utilizando a equação da Cinemática $d = v t + \frac{1}{2}(at^2)$, para essa situação, encontraremos um o intervalo de tempo de queda igual a 0,6 s. Como na direção horizontal o movimento da esfera é uniforme, a distância

horizontal percorrida por ela, no intervalo de tempo Imagine uma bala de canhão lançada obliquamente com

adequado, é dada por: uma velocidade inicial v , inclinada de um ângulo em θ

$d_H = v_H t = 5,0 \cdot 0,6 = 3,0 \text{ m}$ relação à horizontal.

Editora Bernoulli 17

Frente A Módulo 04

No ponto mais alto da trajetória:

- o valor da componente vertical da velocidade é nulo; $v_y = 0$
- o plano horizontal
- o intervalo de tempo gasto no movimento de subida

será igual ao intervalo de tempo gasto no movimento de descida;

- o valor da altura máxima atingida pelo projétil pode

O vetor velocidade de um corpo em trajetória curvilínea

é tangente à trajetória deste em qualquer instante, ser determinado a partir da análise do movimento

tendo o mesmo sentido do movimento. Observe que uniformemente desacelerado, na direção vertical;

a velocidade no ponto mais alto atingido pelo projétil

- o valor da distância horizontal percorrida pode ser
- é horizontal e não nula. Enquanto o projétil sobe,

determinado a partir da análise do movimento

seu movimento é desacelerado e, ao descer, acelerado.

uniforme, na direção horizontal, utilizando-se a

Neste módulo, iremos considerar que os efeitos da resistência

do ar sobre o movimento do projétil sejam desprezíveis. velocidade horizontal inicial e o intervalo de tempo

A figura a seguir mostra as características do vetor

velocidade nas direções vertical e horizontal durante todo o **Durante a descida:** movimento. É importante notar que o movimento segundo

o eixo Oy equivale a um lançamento vertical para cima, • a componente vertical da velocidade é negativa;

com velocidade inicial v e aceleração de valor -10 m/s^2 . v_y • o módulo da velocidade vertical aumenta (movimento Como já dito, enquanto o projétil sobe, seu movimento é desacelerado e, ao descer, acelerado. uniformemente acelerado);

• o valor da componente horizontal da velocidade

$v_x = v_{x0}$ horizontal da velocidade no momento do lançamento; $v_y = v_{y0} - gt$ permanece constante e igual ao valor da componente

$a_y = -g$ • o valor da aceleração devido à gravidade é de $-9,8 \text{ m/s}^2$; $a_x = 0$

$$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2g(y - y_0) \quad v = v_0 + gt \quad d = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \quad v^2 = v_0^2 + 2gd; \quad x = x_0 + v_{x0}t$$

• analisando-se o movimento de descida, o valor v_x da velocidade vertical inicial v é zero, e o valor v_{y0} da velocidade final possui o mesmo módulo da v_y componente vertical da velocidade de lançamento $v_{y0} = v_0 \sin \theta$ ($v = v_0 \sin \theta$), porém, com sinal negativo. $v_y = -v_0 \sin \theta$

O x0 xT x

A

Tempo total de

movimento

Vamos apresentar separadamente as características de Podemos determinar o tempo total de permanência do

cada parte do movimento e suas respectivas equações, projétil no ar, realizando os cálculos do tempo de subida e

considerando como positivos os sentidos coincidentes com de descida separadamente, ou então, efetuar os cálculos

os sentidos dos eixos coordenados: considerando a velocidade inicial de subida e a velocidade

final de descida.

Durante a subida:

O tempo de subida pode ser determinado, utilizando-se a

- equação $v = v_0 + gt$. No instante em que o projétil atinge y_0 o módulo da componente vertical da velocidade • a componente vertical da velocidade é positiva;

y

diminui (movimento uniformemente desacelerado); o ponto mais alto da trajetória, $v = 0$. Logo: y

- $-v_0$ o módulo da velocidade horizontal não se altera; $0 - v \sin \theta$
 $= v_0 + gt = 0 \Rightarrow t_{y0}$ y subida subida $= g$ g • o valor da aceleração devido à gravidade é de $-9,8 \text{ m/s}^2$;

- Como o intervalo de tempo de subida é igual ao de descida, $v = v_0 + gt$ // $h = v_0 t + \frac{1}{2}(gt^2)$ // $v^2 = v_0^2 + 2gd$; 000

considerando que o ponto de lançamento esteja nivelado

- analisando-se o movimento total de subida, o valor

da velocidade vertical inicial, v_0 , é o valor da v_0 com o solo, temos: componente vertical da velocidade de lançamento $t = 0$

descida y $-v \sin \theta$ ($v g = v \cdot \sin \theta$), e a velocidade final é zero. y

18 Coleção Estudo

Lançamento horizontal e lançamento oblíquo

Desse modo, o intervalo de tempo total de permanência

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

do projétil no ar será dado por:

02. Uma bala de canhão é lançada obliquamente com $-2v \sin \theta$ = $|g|$ total velocidade v , de módulo 50 m/s, sob um ângulo de $|g|$ lançamento θ , ($\sin \theta = 0,6$ e $\cos \theta = 0,8$), conforme a

figura a seguir:

Observação: Apesar do sinal negativo antes da expressão

que determina o tempo total do movimento, este obviamente $v^2 = v_1^2 + v_2^2$ não é negativo, já que, por causa do eixo de referência $t = 0$ Plano horizontal usado, o valor de g também é negativo. Essa observação

vale para as equações posteriores que apresentarem o

mesmo fenômeno.

Calcular, considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, e desprezando a influência do ar,

Altura máxima (h) A) o valor da velocidade no ponto mais alto da trajetória. **MÁX.**

B) o intervalo de tempo total do movimento.

O valor da altura máxima (h) atingida pelo projétil, MÁX. C) o valor da altura máxima.

em relação ao solo, pode ser determinado, lembrando-se que

D) o alcance horizontal.

h é o valor da altura vertical quando v_y se anula. Na direção y

vertical, durante a subida, o movimento é uniformemente **Resolução:**

desacelerado. Utilizando a equação de Torricelli: A) O valor da velocidade no ponto mais alto da trajetória é

$v_y = 0$ igual ao valor da componente da velocidade na direção y $v_y = v_0 \sin \theta + (-g)t$ $0 = v_0 \sin \theta - g t$ $t = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ $\Rightarrow$ do eixo horizontal, já que a componente vertical da MÁX. $2 g$ velocidade é nula. O módulo da componente horizontal

$\Rightarrow v \cos \theta$ $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$ da velocidade, que permanece constante durante MÁX.

2g todo o movimento, pode ser encontrado por meio da **FÍSICA**

seguinte relação: $v_x = v_0 \cos \theta = 50.0,8 = 40 \text{ m/s}$.

Alcance horizontal

B) Considerando que a distância vertical percorrida no

movimento de subida seja igual à distância vertical

O alcance horizontal (A) é a distância percorrida pelo movimento de descida, temos que o

intervalo de tempo de subida é igual ao intervalo de projétil, na horizontal, desde o instante do lançamento até

tempo de descida. Podemos calcular o intervalo de o momento em que o projétil toca o solo. Seu valor é igual

tempo por meio dos seguintes processos:

ao deslocamento horizontal do projétil durante o intervalo de

b1 Calculando o intervalo de tempo total do

tempo total do movimento. Como o movimento é uniforme,

movimento de subida.

podemos escrever que:

$$d \left(v = v_0 \sin \theta_{0y} - 2v_0 \sin \theta \right) \Rightarrow 0 \sin \theta \cos \theta = v t \quad A = v t = v_0 \cos \theta$$
$$\Rightarrow \theta_0 = -2v_0 \sin \theta \quad \left| \begin{array}{l} 2v_0 \sin \theta = 50.0,6 = 30 \text{ m/s} \\ g \quad | \quad g_{0y} \end{array} \right. \quad \text{Substituindo os valores, teremos:}$$

$$\text{Como } 2 \sin \theta - v_0 \sin \theta = v_0 + g t \Rightarrow 0 = 30 - 10t \Rightarrow t = 3 \text{ s} \quad \theta \cos \theta = \sin (2\theta)$$

$$\Rightarrow A = 0 \sin \left(\frac{1}{2} \right) 2 \theta \cdot 0 \text{ s s } g \quad \text{Sendo o tempo de subida igual ao tempo de}$$

Observe que a equação anterior nos permite determinar descida, temos que o tempo total de movimento

qual deve ser o ângulo de lançamento para que o alcance é 6,0 s.

horizontal seja máximo. Devemos procurar um ângulo no b2. Calculando o intervalo de tempo total.

qual o valor de $\sin (2\theta)$ seja o maior possível. A imagem Se considerarmos o movimento na vertical

da função seno varia de -1 a $+1$, sendo que entre 0 e π , durante todo o movimento, temos que a

apenas $\sin 90^\circ = +1$. Desse modo, podemos concluir que componente vertical inicial da velocidade da bola

o valor de de canhão é de $+30 \text{ m/s}$, e a componente final θ para que o alcance do projétil seja máximo

deve ser igual a 45° . Por esse motivo, no início do módulo, será de -30 m/s . Logo, o intervalo de tempo total

dissemos que os atletas de arremesso de dardo (ou outro do movimento é dado por:

$$\text{objeto qualquer)} \text{ procuram lançar os dardos com um } v = v_0 + g t \Rightarrow -30 = +30 + (-10)t \Rightarrow t = 6 \text{ s}$$

ângulo igual a 45° em relação à direção horizontal. (3 s para a subida e 3 s para a descida).

Frente A Módulo 04

C) Para calcularmos o valor da altura máxima alcançada

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

pela bola, podemos trabalhar com a equação de

Torricelli: $v^2 = v_0^2 + 2gh$.

01. (PUC Minas–2009) Um arqueiro atira uma flecha, que

Substituindo as variáveis pelos valores conhecidos,

percorre uma trajetória parabólica vertical até atingir o

teremos: alvo. No ponto mais alto da trajetória da flecha,

$0^2 = 30^2 + 2(-10)h \Rightarrow h = 45 \text{ m}$ A) a velocidade e a aceleração são nulas.

D) Como o objeto se deslocou durante 6 s com uma B) a aceleração é nula.

velocidade horizontal de 40 m/s ($v_x = v_0 \cos \theta = 40 \text{ m/s}$), C) o vetor velocidade e o vetor aceleração são

temos que seu alcance é de: horizontais.

d D) a componente vertical da velocidade é nula. $x = v_x t$

$d_x = 40 \text{ m/s} \cdot 6 \text{ s} = 240 \text{ m}$ **02.** (UFMG) Observe a figura.



03. Um interessante brinquedo científico consiste em um



carrinho que contém uma mola posicionada na direção K L M
vertical, como mostra a figura a seguir. Uma esfera
de metal é colocada sobre a mola, e esta a lança
verticalmente para cima. A esfera retorna ao ponto de
lançamento após alguns instantes.

t_1 t_2

Daniel está andando de *skate* em uma pista horizontal.

No instante t_1 , ele lança uma bola, que, do seu ponto de vista, sobe verticalmente.
A bola sobe alguns metros e

cai, enquanto Daniel continua a se mover em trajetória
retilínea, com velocidade constante. No instante t_2 , a bola retorna à mesma altura
em que foi lançada.

Despreze os efeitos da resistência do ar.

Assim, no instante t_2 , o ponto em que a bola estará, mais provavelmente, é

O que acontece com a esfera de aço, caso ela seja A) K.

lançada enquanto o carrinho estiver em movimento B) L.

retilíneo e uniforme? A esfera cairá atrás, na frente ou C) M.

sobre a mola? D) qualquer um, dependendo do módulo da velocidade

de
lançamento.

Resolução:

Se desprezarmos a resistência do ar, podemos
considerar **03.** (UFV-MG–2008) A figura a seguir ilustra o movimento de

o movimento da esfera, na direção horizontal, como um projétil após ser lançado
com velocidade de módulo v_0

sendo retilíneo e uniforme, com a mesma velocidade v_0 e com um ângulo θ
relativo à horizontal definida pela

carrinho que a lançou. Portanto, em relação ao carrinho, superfície da Terra. Desprezando os efeitos de resistência do

a esfera encontra-se em repouso na direção horizontal e ar e considerando $0^\circ < \theta < 90^\circ$, é **CORRETO** afirmar que

executa um MRUV na direção vertical. Assim, ela retorna vo
ao mesmo ponto do carrinho em que foi lançada, ou seja,
sobre a mola.

θ

- A) a altura máxima atingida pelo projétil é independente
do ângulo de lançamento θ .
- B) a velocidade do projétil é nula no ponto mais alto da
trajetória.
- C) o alcance horizontal máximo é independente do
ângulo de lançamento θ .
- D) a aceleração resultante do projétil é constante ao
longo da trajetória.

20 Coleção Estudo

Lançamento horizontal e lançamento oblíquo

04. (CEFET-MG–2006) Um aluno do CEFET, em uma partida A) C)

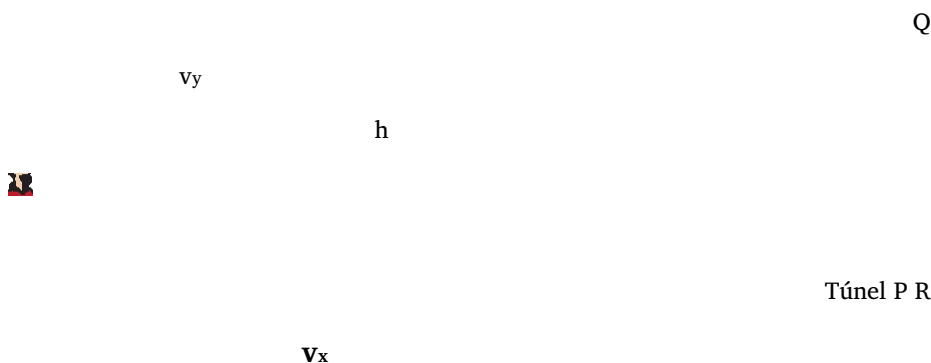
de futebol, lança uma bola para cima, numa direção que
forma um ângulo de 60° com a horizontal. Sabendo que a
velocidade na altura máxima é 20 m/s, podemos afirmar
que a velocidade de lançamento da bola, em m/s, foi de P P
A) 10. C) 20. E) 40.

B) 17. D) 30.

05. (UECE) Uma bola é lançada verticalmente para cima, com velocidade de 18 m/s , por um rapaz situado em um P P skate que avança segundo uma reta horizontal, a $5,0 \text{ m/s}$.

Depois de atravessar um pequeno túnel, o rapaz volta a **02.** (UFMG–2006) Clarissa chuta, em sequência, três bolas – recolher a bola, a qual acaba de descrever uma parábola, P, Q e R –, cujas trajetórias estão representadas nesta

conforme a figura. figura:



X

Despreze a resistência do ar e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A altura máxima h alcançada pela bola e o deslocamento

horizontal x do *skate* valem, respectivamente, **FÍSICA**

A) $h = 16,2 \text{ m}$; $x = 18,0 \text{ m}$. Sejam t_P , t_Q e t_R os tempos gastos, respectivamente, pelas P Q R

bolas P, Q e R, desde o momento do chute até o instante

B) $h = 16,2 \text{ m}$; $x = 9,0 \text{ m}$. em que atingem o solo.

C) $h = 8,1 \text{ m}$; $x = 9,0 \text{ m}$. Considerando-se essas informações, é **CORRETO**

D) $h = 10,0 \text{ m}$; $x = 18,0 \text{ m}$. afirmar que

A) $t_P > t_Q = t_R$. C) $t_P > t_Q > t_R$. Q P R Q R P

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

B) $t_P > t_Q = t_R$. D) $t_P > t_Q > t_R$. R Q P R Q P

01. (UFMG–2007) Uma caminhonete move-se, com suas respectivas massas, são abandonados em um plano **03.** (UFG) Os quatro blocos, representados na figura com

aceleração constante, ao longo de uma estrada plana e

inclinado que não apresenta atrito e termina voltado para
reta, como representado na figura:

a direção horizontal.

Os blocos, ao deixarem a plataforma, descrevem
trajetórias parabólicas em queda livre e alcançam o solo,
formando, da esquerda para a direita, a sequência

A seta indica o sentido da velocidade e o da aceleração 5m

2m

dessa caminhonete. 3m

Ao passar pelo ponto P, indicado na figura, um passageiro, na carroceria do veículo, lança uma bola para cima, verticalmente em relação a ele.

Despreze a resistência do ar.

Considere que, nas alternativas a seguir, a caminhonete está representada em dois instantes consecutivos.

Assinale a alternativa em que está **MELHOR** representada A) m; 5m; 2m; 3m. D) 3m; 5m; m; 2m.

a trajetória da bola vista por uma pessoa, parada, no B) m; 2m; 3m; 5m. E) 5m; 3m; 2m; m.

acostamento da estrada. C) 3m; 2m; 5m; m.

Editora Bernoulli 21

Frente A Módulo 04

04. (CEFET-MG–2009) Um malabarista lança uma de suas Sejam v_P e v_Q os módulos das velocidades dos corpos P e Q,

bolinhas com velocidade inicial $v = 3 \text{ m/s}$ com ângulo respectivamente, imediatamente antes de tocarem o

$\alpha = 45^\circ$ em relação à horizontal, conforme representado chão, e t_P e t_Q os tempos despendidos por cada corpo P Q

a seguir. nesse percurso. Despreze os efeitos da resistência do ar.

y Nessas condições, pode-se afirmar que

A) $v_P = v_Q$ e $t_P > t_Q$

B) $v_P = v_Q$ e $t_P = t_Q$.

$$\alpha \text{ C) } v > v_e \text{ e } t > t_x \text{ p q p q}$$

$$0 \text{ d D) } v_P > v_Q \text{ e } t_P = t_Q.$$

07. (UFV-MG–2009) Uma bola é lançada horizontalmente com

velocidade inicial v_0 . Ao percorrer horizontalmente 30 m, ela cai verticalmente 20 m, conforme mostrado no gráfico a

seguir. Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e despreze a resistência do ar.

Desprezando a resistência do ar, é **CORRETO** afirmar

que a(o) y (m)

20 v_0

A) altura máxima h é 45 cm.

B) alcance horizontal máximo d é 90 cm.

C) energia cinética da bolinha, no ponto h, é máxima.

0

D) tempo para atingir a altura máxima h é igual a 0,6 s. 0 30 x (m)

E) energia mecânica da bolinha, ao atingir a outra mão É **CORRETO** afirmar que o módulo da velocidade de

do malabarista, é nula. lançamento v_0 é

05. A) 15 m/s. C) 7,5 m/s. (OBF) Uma bola é solta a partir do repouso, sempre da

mesma posição, no plano inclinado mostrado na figura a B) 30 m/s. D) 60 m/s.

seguir. A bola rola sobre o plano e sobre a mesa, caindo

livremente, e um estudante, com uma cesta, a recolhe **08.** (UFV-MG–2007) Um projétil é lançado horizontalmente

sem deixá-la cair no chão. Em determinado instante, ele de uma altura de 20 m, com uma velocidade inicial de

posiciona a cesta como indica o desenho, e a bola cai módulo igual a 15 m/s. Desprezando-se a resistência do

exatamente em seu interior. ar e considerando o módulo da aceleração

gravitacional

como 10 m/s^2 , é **CORRETO** afirmar que o projétil atingirá o solo após ter percorrido uma distância horizontal igual a

d A) 11 m. C) 60 m. E) 30 m.

y B) 15 m. D) 23 m.

09. (Unimontes-MG–2009) Uma bola, lançada horizontalmente

da plataforma A, segue rumo à plataforma B.

As plataformas estão separadas por um fosso de largura D.

Com esse resultado, ele garante que, se colocasse a cesta A está a uma altura H em relação a B (veja a figura).

a uma distância horizontal $2d$ da mesa, seria necessário No local, a aceleração da gravidade é g . O **MENOR** valor

que ela ficasse abaixo do tampo da mesa do módulo v_0 da velocidade de lançamento da bola, para

A) $y/2$. B) $2y$. C) $3y$. D) $4y$. E) $5y$. que atinja a plataforma B, é dado pela expressão

06. v (UFMG) Um corpo P é lançado horizontalmente de uma Plataforma A a

determinada altura. No mesmo instante, um outro corpo Q H Plataforma B é solto em queda livre, a partir do repouso, dessa mesma

altura, como mostra a figura. g

D

P Q

A) $g \cdot 2d \cdot v_D = 0$

C) $v = D \cdot 2H$
H

B) $2D \cdot v = H$

D) $v_H \cdot 0 = g$
 $2g$

Lançamento horizontal e lançamento oblíquo

10. (PUCPR) Um projétil de massa 100 g é lançado **13.** (Mackenzie-SP) Um balão (aerostato) parte do solo

obliquamente a partir do solo, para o alto, numa direção plano com movimento vertical, subindo com velocidade

que forma 60° com a horizontal, com velocidade de constante de 14 m/s. Ao atingir a altura de 25 m, seu

120 m/s, primeiro na Terra e posteriormente na Lua. piloto lança uma pedra com velocidade de 10 m/s, em

Considerando a aceleração da gravidade da Terra o relação ao balão e formando um ângulo de 37° em relação

sêxtuplo da gravidade lunar, e desprezíveis todos os à horizontal. A distância entre a vertical que passa pelo

atritos nos dois experimentos, analise as proposições a balão e o ponto de impacto da pedra no solo é

seguir: Adote: $g = 10 \text{ m/s}^2$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = 0,6$

I. A altura máxima atingida pelo projétil é maior na Lua A) 30 m. D) 90 m.

que na Terra.

B) 40 m. E) 140 m.

II. A velocidade do projétil, no ponto mais alto da C) 70 m.

trajetória, será a mesma na Lua e na Terra.

III. O alcance horizontal máximo será maior na Lua.

14. (Unicamp-SP) O famoso salto duplo *twist* carpado de

IV. A velocidade com que o projétil toca o solo é a mesma Daiane dos Santos foi analisado durante um dia de

na Lua e na Terra. treinamento no Centro Olímpico em Curitiba, através

de sensores e imagens que permitiram reproduzir a

Está(ão) **CORRETA(S)**

trajetória do centro de gravidade de Daiane na direção

A) apenas III e IV. vertical (em metros), assim como o tempo de duração

B) apenas II. do salto. De acordo com o gráfico a seguir, **DETERMINE**

C) apenas III. 2

) 1,8

D) todas.

1,6

E) nenhuma delas. 1,4

1,2

11. (PUC Rio–2010) Um super atleta de salto em distância 1

realiza o seu salto procurando atingir o maior alcance 0,8 **FÍSICA**

possível. Se ele se lança ao ar com uma velocidade cujo 0,6

módulo é 10 m/s, e fazendo um ângulo de 45° em relação Deslocamento vertical (m 0,4

à horizontal, é **CORRETO** afirmar que o alcance atingido 0,2

pelo atleta no salto é de 0 0,2 0 0,1 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 1,1

(Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$) Tempo (s)

A) 2 m. A) a altura máxima atingida pelo centro de gravidade de

B) 4 m. Daiane.

C) 6 m. B) a velocidade média horizontal do salto, sabendo-se

D) 8 m. que a distância percorrida nessa direção é de 1,3 m.

E) 10 m. C) a velocidade vertical de saída do solo.

12. (PUC-Campinas-SP) Observando a parábola do dardo **15.** (Unicamp-SP) Uma bola de tênis rebatida numa

arremessado por um atleta, um matemático resolveu das extremidades da quadra descreve a trajetória

obter uma expressão que lhe permitisse calcular a altura y , representada na figura a seguir, atingindo o chão na

em metros, do dardo em relação ao solo, decorridos outra extremidade da quadra. O comprimento da quadra

t segundos do instante de seu lançamento ($t = 0$). é de 24 m. o

Se o dardo chegou à altura máxima de 20 m e atingiu 125,0

o solo 4 segundos após o seu lançamento, então, (cm) 62,5

desprezada a altura do atleta, a expressão que o ra rede

matemático encontrou foi altu 0,0 0 4 8 12 16 20 24 A) $y = -5t^2 + 20t$.
distância (m)

B) $y = -5t^2 + 10t$.

C) $y = -5t + t$.

2 A) **CALCULE** o tempo de voo da bola, antes de atingir
o chão. Desconsidere a resistência do ar nesse caso.

D) $y = -10t^2 + 50$.

B) Qual é a velocidade horizontal da bola no caso

E) $y = -10t^2 + 10$. anterior?

Editora Bernoulli 23

Frente A Módulo 04

SEÇÃO ENEM 03. Uma esfera é lançada horizontalmente de uma mesa, sempre com a mesma velocidade, e atinge o solo a uma distância

01. O estudo do movimento dos corpos lançados obliquamente horizontal D da borda da mesa. Uma placa vertical pode ser

sofreu grande impulso com a invenção dos canhões, uma posicionada a uma distância x dessa borda ($0 < x < D$), de

vez que era necessário determinar com precisão o local modo a registrar as posições verticais de queda da esfera

onde os projéteis caíam. A figura a seguir representa com (figura 1). Em uma sequência de lançamentos, o prof. Ênio,

uma linha pontilhada a trajetória de uma bala de canhão, variando a posição x da placa, obteve o registro das posições

caso o campo gravitacional fosse nulo, e representa com verticais de queda da esfera, mostrada na figura 2.

uma linha cheia a trajetória e a posição dos projéteis,

depois de 1 s, 2 s e 3 s de lançamento, caso não houvesse

resistência do ar. As alturas h_1 , h_2 e h_3 representadas na

figura têm valores, respectivamente, iguais a Placa registradora

(Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$)

Figura 1 Figura 2

Analisando o registro das posições verticais de queda da esfera, podemos afirmar que

A) as medidas não foram feitas com precisão, uma vez

que mostrou a esfera percorrendo distâncias iguais,

3 s como se seu movimento fosse uniforme.

B) o registro está incorreto, uma vez que o movimento

Observação: o desenho não se encontra em escala.

da esfera é uma composição de dois movimentos

A) 1 m, 2 m e 3 m. D) 15 m, 25 m e 40 m.

independentes e acelerados.

B) 5 m, 20 m e 45 m. E) 15 m, 30 m, 45 m.

C) se a placa for deslocada horizontalmente em intervalos

C) 10 m, 20 m e 30 m. de distâncias iguais (x , $2x$, $3x$, ...), a distância vertical

02. O gráfico a seguir mostra a distância horizontal e vertical D) as posições registradas podem estar corretas, desde de queda também será proporcional.

percorrida por uma bola de futebol quando chutada com a

que os deslocamentos horizontais feitos pela placa

mesma velocidade inicial, porém com ângulos (em relação

tenham sido cada vez menores.

à horizontal) diferentes, e identificados sobre a curva.

E) o resultado do registro mostrado na figura 2 somente

Nele, observa-se que:

seria possível se a placa estivesse colocada na posição

• A distância horizontal é maior para um ângulo de horizontal.

lançamento igual a 45° ;

• As distâncias horizontais são
iguais para os pares de GABARITO
ângulos iguais a 15° e 75° , bem como para 30° e 60° .

y 75° **Fixação**

60°

45° 01. D 02. B 03. D 04. E 05. A

30° Propostos 15°

x 01. B 10. D

02. A 11. E

Podemos explicar as duas observações simultaneamente

03. C 12. A

devido

A) à distância horizontal ser diretamente proporcional

ao valor do seno do dobro do ângulo de lançamento. 05. D 14. A) $h_{\text{máx.}} = 1,55 \text{ m}$

B) ao movimento da bola na direção horizontal ser 06. D B) $v_x = 1,2 \text{ m/s}$

independente no movimento na direção vertical. 07. A C) $v_y = 5,5 \text{ m/s}$

C) à propriedade do campo gravitacional ser uniforme 08. E 15. A) $t = 0,75 \text{ s}$

na região onde foi realizada a atividade. 09. A B) $v_H = 32 \text{ m/s}$

D) às propriedades geométricas das curvas que Seção Enem descrevem o movimento da bola, no caso, uma parábola.

E) ao fato de a velocidade horizontal no ponto mais alto 01. B 02. A 03. D da trajetória não ser nula.

24 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Calorimetria 03 B

Anteriormente, vimos que o calor é um fluxo de energia no

Capacidade térmica

espaço, gerado por uma diferença de temperatura. Também

aprendemos a estimar a taxa de transferência de calor, Observe o corpo cilíndrico mostrado na figura 1. O corpo pode

em função da diferença de temperatura, por meio das leis ser aquecido homogeneamente por meio de uma resistência

básicas da condução, da convecção e da radiação térmica. elétrica de baixa potência inserida em sua massa. Durante o

Agora, neste módulo, aprenderemos a calcular o calor que aquecimento, a temperatura do corpo pode ser determinada,

um corpo absorve ou cede em função do estado inicial e a cada instante, pela leitura do termômetro inserido no corpo.

final desse corpo. Enquanto as leis de transferência vistas O calor absorvido pelo corpo é igual ao produto entre a

anteriormente levam em conta o tempo gasto na troca de potência elétrica dissipada pela resistência e o tempo de

calor, as equações do presente módulo são atemporais e aquecimento. Considere, então, que o objeto receba uma

forneem simplesmente o calor trocado por um sistema. quantidade de calor Q , e que a sua temperatura se eleve de ΔT .

O uso combinado das duas formulações nos permitirá resolver Definimos a capacidade térmica C do corpo, dentro da faixa

novos problemas sobre a troca de calor entre os corpos. de temperatura ensaiada, por meio da seguinte expressão:



Este módulo é dividido em duas partes básicas. Na primeira,

serão estudadas situações em que o calor fornecido a um Q corpo, ou por ele liberado, provoca uma variação em sua $C = \Delta T$ temperatura. Na outra parte, estudaremos o caso em que a energia calorífica provoca uma mudança de fase em um

corpo, fazendo-o passar, por exemplo, do estado sólido para Termômetro o líquido. A influência da pressão sobre a mudança de fase de

uma substância pura também será discutida neste módulo. Resistência

elétrica

CALOR SENSÍVEL

Calor sensível é aquele que, ao ser fornecido a um corpo

(ou ser cedido por ele), provoca uma variação na

temperatura deste. Antes de apresentarmos a equação de

cálculo do calor sensível, vamos definir duas propriedades

físicas associadas ao calor sensível: a capacidade térmica

e o calor específico. Para isso, apresentamos as principais

unidades do calor.



Unidades do calor

Figura 1: Experimento para determinação

da capacidade térmica

de um objeto.

Sendo uma forma de energia, o calor é expresso, no

Sistema Internacional, em joule (J). No entanto, outra unidade A capacidade térmica de um corpo pode ser considerada

bastante difundida para expressar a energia calorífica é a constante dentro de uma ampla faixa de temperatura.

caloria (cal). A relação entre essas unidades é: Por exemplo, nessa experiência, se Q for igual a 1 000 J e ΔT

for igual a 20 °C, a capacidade térmica do corpo será igual a

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

50 J/°C. Esse resultado indica que, para que a temperatura

Certamente, você já teve contato com a unidade caloria se eleve de 1°C , o corpo tem de receber uma quantidade

em seu dia a dia ou em seus estudos de Química e Biologia. de calor de 50 J. Quando o corpo recebe 100 J, a elevação

Por exemplo, o poder calórico dos alimentos é, em geral, de temperatura é igual a 2°C ; para uma quantidade de calor

fornecido em calorias. Um pãozinho e um copo de leite recebida igual a 150 J, a temperatura aumenta de 3°C ,

padrão apresentam um valor energético de 130 kcal e assim por diante. Os mesmos valores são observados

(quilocalorias) e 70 kcal, respectivamente. O poder calorífico durante o resfriamento do corpo, de maneira que, para

da gasolina usada nos motores automobilísticos vale cerca de cada 50 J de calor liberado, a temperatura do corpo diminui

700 kcal/litro. Se a energia de 1 litro de gasolina fosse de 1 °C. O aquecimento e o resfriamento da matéria são

integralmente usada para elevar um foguete de massa igual a fenômenos simétricos. 100 kg, a altura atingida pelo foguete teria um valor próximo Um objeto de alta capacidade térmica pode receber uma

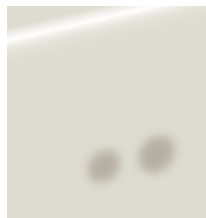
de 3 km. Para calcular essa altura, você deve converter grande quantidade de calor e sofrer apenas uma pequena

o calor gerado na combustão de 1 litro do combustível elevação de temperatura. Por exemplo, considere um

para joules e depois igualar esse valor à energia potencial corpo de capacidade térmica igual a 1 000 J/°C, e outro

gravitacional adquirida pelo foguete. de capacidade térmica igual a 10 J/°C. O primeiro corpo,





-

-

-

-

—





Frente B Módulo 03

ao receber uma quantidade de calor igual a 1 000 J, tem a Para a maioria das substâncias, o calor específico varia

sua temperatura elevada de apenas 1 °C. O corpo de baixa muito pouco em uma ampla faixa de temperatura. Por isso,

capacidade térmica, ao contrário, ao receber a mesma no experimento da figura 2, se a água for aquecida por

energia, terá sua temperatura elevada de 100 °C. mais tempo, de forma que o calor fornecido seja 10 vezes

A capacidade térmica é uma propriedade extensiva, pois maior ($Q = 41,8 \text{ kJ}$), a elevação de temperatura também

ela depende da massa do corpo. Em geral, objetos massivos será 10 vezes maior ($\Delta T = 10 \text{ °C}$). Se substituirmos esses apresentam elevada capacidade térmica e demandam valores na equação do calor específico, obteremos o mesmo mais tempo e energia para serem aquecidos ou resfriados. valor de antes: $4,18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Por exemplo, uma batata, embrulhada em papel alumínio e assada ao forno, demora para se resfriar, enquanto o papel A tabela seguinte contém valores de calor específico de

se resfria rapidamente. Dois corpos do mesmo material, sólidos e líquidos a 20 °C. Observe que o calor específico

mas de massas diferentes, apresentam capacidades dos metais é pequeno. A água, ao contrário, apresenta

térmicas diferentes. O corpo de maior massa apresenta calor específico significativamente maior que o de outras

maior capacidade térmica, precisando receber mais calor do substâncias. que o outro para ter a temperatura elevada do mesmo valor.

a mesma capacidade térmica. Por exemplo, uma panela Substância $\text{cal/g}^\circ\text{C}$ $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ Por sua vez, corpos de materiais diferentes podem apresentar

de alumínio pode apresentar, dependendo da sua massa, Alumínio $0,22 \times 10^3$ a mesma capacidade térmica que um litro de água.

A seguir, vamos definir uma propriedade termodinâmica Ferro $0,11 \times 10^3$

chamada calor específico. Em contraposição à capacidade Metais Cobre $0,10 \times 10^3$

térmica, o calor específico é uma propriedade intensiva da matéria, pois o seu valor independe da massa do corpo.

Calor específico

Mercúrio (líq.) $0,034 \times 10^3$

Areia $0,19 \times 10^3$

corpo deve receber (ou ceder) para ter a sua temperatura Vimos que a capacidade térmica representa o calor que um Sólidos não metálicos modificada de um valor unitário. Por sua vez, o calor Bananas $0,80 \times 10^3$

específico representa a quantidade de calor que provoca 3 Água $1,0 \times 10^3$ uma variação unitária de temperatura sobre uma massa

também unitária. Matematicamente, o calor específico pode Leite de vaca $0,94 \times 10^3$

ser definido da seguinte forma: Líquidos 3 Etanol $0,59 \times 10^3$



Gasolina 0,50 2,1 x 10³

$$c = Q$$

m T Δ Usando um pouco de álgebra nas definições da capacidade

Nessa equação, m é a massa do corpo, Q é o calor recebido térmica e do calor específico, concluímos que:

(ou cedido) e ΔT é a variação de temperatura sofrida pelo

corpo. A figura 2 é uma montagem simples para determinar C ou $C = mc$ c = o calor específico da água (ou de outro líquido), em que m uma fonte de potência conhecida é usada para aquecer 1 kg

A segunda expressão indica que um corpo de grande de água (massa unitária). Experimentalmente, verifica-se

massa e constituído de uma substância que possui grande que uma quantidade de calor igual a 4,18 kJ provoca uma

calor específico apresenta elevada capacidade térmica. elevação de 1 °C na temperatura da água (variação unitária).

O melhor exemplo que podemos pensar é o mar. Além do alto Substituindo esses valores na equação anterior, obtemos o

calor específico da água, o valor elevado da massa do mar seguinte valor para o calor específico da água:

lhe confere uma capacidade térmica gigantesca. Por isso,

c Q o mar pode receber enormes quantidades de calor durante 4 18 , kJ kJ cal = = = 4 18 , = 1 0 , m T Δ 1 . kg 1 ° C kg C ° g C ° o dia sem que sua temperatura se eleve muito. À noite, o mar pode perder muito calor sem que sua temperatura

sofra uma grande redução. Por isso, cidades a beira-mar tendem a apresentar uma amplitude térmica diária moderada (amplitude térmica é a diferença entre a temperatura

$$\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ambiente máxima e mínima). Ao contrário, as regiões

desérticas, como o Saara, possuem grandes amplitudes

$m = 1\text{ kg}$ de areia ou rochosa, que são substâncias de baixo calor específico. térmicas. Essas regiões apresentam uma superfície arenosa

água

Nos desertos, durante o dia, a temperatura ambiente pode

chegar a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e à noite ser próxima de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A equação operacional do calor específico pode ser

rearranjada para a seguinte forma:

Figura 2: Experimento para a determinação do calor específico

da água. $Q = mc\Delta T = C\Delta T$

26 Coleção Estudo

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

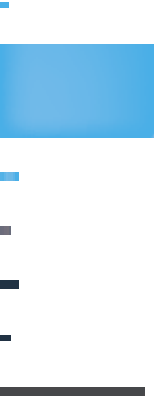
■

■

■

■

■



Calorimetria

calcular o calor sensível recebido por um corpo, ou cedido Bolinhas de chumbo Essa equação é bastante útil, pois você pode usá-la para por ele, em função da massa do corpo e da sua variação de

temperatura. Para isso, é necessário conhecer também o

material do corpo, a fim de poder obter o seu calor específico

em uma tabela, como aquela apresentada anteriormente. T_E Em alguns problemas, a capacidade térmica do corpo

pode ser dada. Nesse caso, não é necessário conhecer o

material do corpo, pois, como você pode ver na equação

anterior, a capacidade térmica multiplicada pela variação

de temperatura também fornece o calor sensível procurado.

Como exemplo, vamos calcular a quantidade de calor que

uma pessoa absorve ao tomar um copo com 200 g de leite

quente a 50 °C. As partes mais internas do corpo humano se

acham a 38 °C, e essa é a temperatura final do leite depois

de ele atingir o equilíbrio térmico no estômago. Usando o **Resolução:**

calor específico do leite dado na tabela anterior, 0,94 cal/g°C, Para estimar a temperatura T , vamos considerar que E obtemos o seguinte valor para o calor cedido pelo leite: i) o resfriamento do chumbo foi desprezível

durante a

Q cal colocação do recipiente no invólucro. $200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$ $94^\circ\text{C} = 367 \text{ K}$ $50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$ $256 \text{ cal} = 1,07 \text{ J}$ ii) a capacidade térmica do recipiente é desprezível, ou $g \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ seja, ele não troca calor com a água e com o chumbo.

Note que esse calor é negativo. A razão disso é que o calor

iii) o isolamento térmico do invólucro é perfeito, e todo

do leite, 38°C , é menor que a temperatura inicial, 50°C . o calor cedido pelo chumbo é absorvido pela água. foi cedido pelo leite, de maneira que a temperatura final Por isso, ΔT é negativo, e Q também é negativo. Ao contrário, O calor cedido pelo chumbo (Q_c) é negativo, enquanto quando um corpo recebe calor, o sinal de Q é positivo. Você que o calor absorvido pela água (Q_a) é positivo. Como Q_{ac} deve reter essas informações, pois elas serão importantes e Q_A são iguais em módulo, podemos escrever o seguinte para resolver alguns problemas de Termodinâmica. De forma balanço de energia:

esquemática, temos: $Q_c + Q_A = 0$ absorvido: $Q > 0$ Substituindo as

equações de calor sensível do chumbo e **FÍSICA** Calor da água nessa expressão, obtemos: cedido: $Q < 0$

$$500.0,031(T - 100) + 150.1,0(T - 22) = 0_{EE}$$

Finalizamos aqui a primeira parte deste módulo. A seguir, Os valores do calor específico do chumbo e da água foram

deixamos uma pergunta para você refletir e um exercício fornecidos pela tabela da seção anterior. Resolvendo a

resolvido. equação, achamos a temperatura de equilíbrio:

$$T_E = 29,3^\circ\text{C}$$





Vamos fazer dois comentários sobre esse problema.



PARA REFLETIR O primeiro é sobre a pequena elevação de temperatura



da água (apenas $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), em comparação à expressiva



Por que os fragmentos incandescentes redução de temperatura do chumbo ($70,7\text{ }^{\circ}\text{C}$).
A variação



provenientes do esmerilhamento de uma peça de temperatura do chumbo foi $9,7$
vezes maior que a da



de ferro não queimam a pele do operador, mas um água porque a capacidade
térmica de 150 g de água é



copo com água fervente pode causar queimaduras 9,7 vezes maior que a capacidade térmica de 500 g de chumbo.



graves? As capacidades térmicas das massas de água e de chumbo,

obtidas pela equação $C = mc$, valem, respectivamente,

150 cal/°C e 15,5 cal/°C. De acordo com esses valores,

EXERCÍCIO RESOLVIDO

o chumbo tem a sua temperatura variada de 1 °C quando

ele recebe uma pequena quantidade de calor, 15,5° cal, em

contraposição à água, que deve receber uma quantidade

01. de calor muito maior, 150 cal, para sofrer um aumento Um estudante coloca 500 g de chumbo em um recipiente

metálico e usa água fervente para aquecer o chumbo a 100 °C, unitário de temperatura. Assim, é natural que a água tenha

conforme mostra a primeira figura. A seguir, o estudante experimentado uma pequena variação de temperatura.

coloca o recipiente em um invólucro isolante, e acrescenta O outro comentário refere-se ao fato de a capacidade térmica

150 g de água, inicialmente a 22 °C. Após alguns minutos, do recipiente ter sido desprezada. Se considerarmos essa

o estudante constata, por meio do termômetro mostrado capacidade, a temperatura de equilíbrio será maior que 29,3 °C,

na segunda figura, que a temperatura do sistema (água, pois o recipiente a 100 °C também fornecerá calor para

chumbo e recipiente) atinge um valor de equilíbrio T . a água, reforçando o seu

aquecimento. Vamos fazer um E

Estimar o valor da temperatura T_E . Citar as considerações cálculo para confirmar isso. Imagine que o recipiente seja de

feitas nessa estimativa. alumínio ($c = 0,22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$) e tenha uma massa $m = 50 \text{ g}$.

Editora Bernoulli 27

Frente B Módulo 03

Então, a sua capacidade térmica será igual a $11 \text{ cal/}^\circ\text{C}$. **Diagrama de fases**

Como o recipiente está inicialmente a 100°C , ele também

cede calor para a água. Assim, a equação de balanço de Uma substância pura é aquela cuja composição química energia é: não se altera durante um processo físico. A água, a amônia e $500.0,031(T_E - 100) + 11(T_E - 100)$ o dióxido de carbono são exemplos de substâncias puras. Os $+ 150.1,0(T_E - 22) = 0$ pontos de fusão e de vaporização de uma substância pura Resolvendo a equação, obtemos: $T_E = 33,7^\circ\text{C}$. Como dependem da pressão aplicada sobre ela. Para entender esse esperado, esse valor é um pouco maior que aquele obtido comportamento da matéria, vamos considerar água líquida sem levar em conta a capacidade térmica do recipiente. em um frasco evacuado e fechado, como mostrado na figura 4.

MUDANÇA DE FASE

Parte da água evapora e preenche o espaço vazio do frasco.

Observe, na figura, que, na interface entre o líquido e o

Fases da matéria

vapor, há moléculas de água com velocidades voltadas para

cima e outras com velocidades para baixo. No equilíbrio, o número de moléculas, por unidade de tempo, que passa do

Na natureza, em geral, as substâncias se apresentam nas estado líquido para o estado de vapor é igual ao número de

fases sólida, líquida e de vapor. As principais mudanças de fase moléculas que faz o caminho inverso. Em outras palavras, a

da matéria estão indicadas na figura 3. Fusão é o nome dado

taxa de vaporização é igual à taxa de condensação. Nesse à transformação que ocorre quando uma substância passa da

momento, a pressão exercida de baixo para cima pelo fase sólida para a fase líquida. O processo inverso chama-se

solidificação ou cristalização (no caso da água, é comum o líquido é igual à pressão exercida de cima para baixo pelo

termo congelamento). A vaporização e a condensação são vapor. Essa pressão é chamada de pressão de vapor, e o seu

os nomes dados às transformações que acontecem quando valor depende da temperatura da água. Por exemplo, se a

uma substância passa da fase líquida para a fase de vapor e água do frasco estiver à temperatura de 20 °C, a pressão

vice-versa, respectivamente. Quando uma substância passa de vapor será igual a 0,0231 atm. Se o frasco for aquecido,

diretamente da fase sólida para a fase de vapor, temos uma e a temperatura da água atingir um valor mais elevado,

transformação denominada sublimação. O processo inverso haverá mais vaporização de água, e um novo equilíbrio

também é conhecido como sublimação, embora alguns autores

ocorrerá em uma pressão também mais elevada. usem o nome ressublimação ou mesmo cristalização.

ão Vapor Condensação Vaporização

aç

lim Líquido b Interface

u S líquido / vapor

Energia molecular

ão

Fus

Sólido o

ça

difica *Figura 4: Interface líquido-vapor em equilíbrio.*

Soli

Figura 3: Principais mudanças de fase da matéria. Assim como na vaporização, as temperaturas de fusão e

de sublimação também são correlacionadas com a pressão

Quando ocorre a passagem do estado sólido ao estado

que age sobre a substância. Isso pode ser observado por

líquido e deste ao estado de vapor, a matéria absorve

meio do diagrama de fases da água mostrado na figura 5.

energia. No sentido inverso, a matéria cede energia.

Portanto, a energia molecular da matéria aumenta no sentido Esse diagrama é um gráfico que correlaciona a pressão

indicado na figura 3. Como você sabe, quando um corpo e a temperatura, a volume constante (como o volume

absorve calor e tem a sua temperatura aumentada, há um do frasco da

figura 4), de uma substância e a sua fase.

aumento da energia cinética das moléculas. Quando um As três curvas que aparecem no diagrama são as seguintes:

líquido absorve calor à pressão constante, passando para o a curva de fusão, que separa as regiões correspondentes

estado de vapor, as moléculas se afastam umas das outras. às fases sólida e líquida, a curva de vapor, separando a

Nesse caso, o calor absorvido pela substância é convertido fase líquida da fase de vapor, e a curva de sublimação,

em trabalho para separar as moléculas. O calor convertido entre as fases sólida e de vapor. Assim, a fase em

em trabalho, nessa situação (mudança de fase), não é usado

que determinada substância se encontra depende dos para aumentar a energia cinética das moléculas, mas sim

valores de pressão e temperatura aos quais a substância a energia potencial molecular. Como a temperatura é uma

medida da energia cinética molecular, a substância não tem a está submetida. Por exemplo, sob a pressão de 1 atm,

sua temperatura alterada durante essa vaporização isobárica. a água é sólida abaixo de 0 °C, líquida entre 0 °C e 100 °C

Algo semelhante ocorre nas outras mudanças de fase. e encontra-se no estado de vapor acima de 100 °C.

28 Coleção Estudo

Calorimetria

Ponto crítico **Gás** mais dois pontos de destaque no diagrama da figura 5: Além dos pontos de fusão e de vaporização, existem

denso

o ponto triplo e o ponto crítico. No ponto triplo, as fases sólida,

218

líquida e de vapor podem coexistir. Observe o diagrama de **Sólido Líquido** fase da água e veja que o gelo passa diretamente do estado

) sólido para o estado de vapor quando a pressão é menor

Ponto de fusão do que 0,006 atm. O dióxido de carbono (CO_2) apresenta **Gás**

temperatura e pressão do ponto triplo de -56°C e 5,1 atm.

É por isso que o gelo seco (dióxido de carbono à baixa

1

temperatura) sublima ao ar livre, uma vez que a pressão de

Pressão (atm) Ponto de 5,1 atm é consideravelmente maior do que a pressão

vaporização atmosférica.

0,006 **Vapor** O ponto crítico é um balizador do estado gasoso. Usamos

Ponto triplo o termo gás para identificar os estados situados acima da temperatura crítica. Um vapor pode ser liquefeito (condensado)

0 100 374 ou sublimado por meio de uma compressão isotérmica, 0,01 entretanto, um gás não pode mudar de fase por meio desse Temperatura ($^\circ\text{C}$) processo. Você pode concluir isso por meio do diagrama da

Figura 5: Diagrama de fases da água. figura 5. No diagrama, trace duas retas verticais representando compressões isotérmicas: desenhe uma reta começando em

Observe o ponto de fusão no diagrama de fases da água, um estado qualquer na região de vapor e a outra reta, na

representado pelas coordenadas 0°C e 1 atm. Quando uma região de

gás. Observe que a primeira compressão isotérmica

massa de gelo a 1 atm e 0 °C recebe calor, a fusão do gelo se corta a curva de vapor (ou a curva de sublimação, caso você

inicia, e a temperatura se mantém constante a 0 °C durante tenha escolhido um estado inicial abaixo e à esquerda do ponto

a mudança de fase. Observe que, para pressões maiores que triplo), enquanto a segunda compressão isotérmica não corta

1 atm, a temperatura de fusão é um pouco menor que 0 °C. nenhuma curva de mudança de fase.

Essa redução do ponto de fusão com o aumento da pressão é De acordo com a substância, os valores da temperatura e da

uma característica de substâncias como a água, que sofrem pressão do ponto crítico e do ponto triplo são muito diferentes.

contração durante a fusão. A maioria das substâncias se A tabela a seguir apresenta o ponto triplo e o ponto crítico

expande durante a fusão e apresenta uma curva de fusão de algumas substâncias. Observe que o metano possui uma

inclinação para a direita, de maneira que o ponto de fusão temperatura crítica muito baixa, de apenas -83 °C. Assim, **FÍSICA** cresce com o aumento da pressão. não é possível liquefazer o metano por simples compressão e

Agora, observe o ponto de vaporização indicado no estocá-lo em botijões no próprio local de extração do gás. É por

diagrama de fases da água, cujas coordenadas são 100 °C isso que o metano e outros gases naturais são transportados

e 1 atm. Observe, no diagrama, que a pressão de vapor através de extensos gasodutos, que vão desde as suas reservas

anteriormente. Podemos citar muitos exemplos para ilustrar temperatura crítica de 152 °C, podendo, portanto, ser liquefeito e distribuído em botijões. esse comportamento da água (e das outras substâncias aumenta com a temperatura, conforme havíamos discutido

até os locais de consumo. O butano, ao contrário, possui uma

atmosférica vale 0,9 atm, e o ponto de vaporização (fervura) **Ponto triplo** **Ponto crítico** puras). Em São Paulo, a altitude é de 800 m, a pressão da água é 98 °C. Em La Paz, capital da Bolívia, a altitude é **Substância** de 4 000 m, a pressão atmosférica vale 0,7 atm, e a água T (°C) P (atm) T (°C) P (atm)

ferve a 90 °C. Para altitudes ainda maiores, a água ferve Água 0,01 0,006 374 218 em temperaturas ainda menores, e o cozimento de alguns

alimentos pode ser bastante lento. Esse problema é facilmente CO₂ -56 5,1 31 73

resolvido com o uso de uma panela de pressão. Dentro dessas Metano - 182 0,117 -83 46 vasilhas, a pressão vale cerca de 2 atm, pressão na qual a

Butano -139 0,0000069 152 37

água ferve a 120 °C. A tabela seguinte contém alguns valores

da curva de pressão de vapor da água. Nitrogênio -210 0,12 -147 33

P (atm) Local T (°C) **Ebulição e evaporação**

0,01 7 **A vaporização pode ocorrer por evaporação ou por** Em laboratórios ou em altas

0,02 camadas da atmosfera **ebulição**. Enquanto a evaporação se dá na interface entre 18 a fase líquida e a fase de vapor, a **ebulição** envolve todas

0,34 as moléculas do líquido. Em geral, a **evaporação** ocorre Everest (altitude de 8 836 m) 71

lentamente e sem turbulências. Além disso, a temperatura

1,0 Ao nível do mar 100 de evaporação é independente da pressão atuante sobre

o líquido. A ebulição é um processo turbulento e rápido,

2,0 120 em que as bolhas de vapor se movimentam
dentro do Em uma panela de pressão ou

3,0 em caldeiras líquido devido às forças de empuxo.
Ao contrário da 134 evaporação, na ebulição, a
temperatura em que ocorre a

Editora Bernoulli 29

Frente B Módulo 03

vaporização depende da pressão atuante sobre a substância.

Calor latente Por exemplo, água a 1 atm em uma panela
pode evaporar

em temperaturas como 20 °C ou 30 °C, mas, para entrar Neste tópico,
vamos aprender a calcular o aporte de calor

em ebulição, ela precisa atingir 100 °C. necessário para provocar uma
mudança de fase. O calor

A taxa de evaporação depende de alguns fatores. Um necessário para
uma substância mudar de fase é conhecido

deles é a área da superfície evaporativa. Quanto maior for como calor
latente. Estando à temperatura de mudança de

essa área, maior será o número de moléculas de líquido fase, o calor
necessário para promover uma mudança de

em condições de passar para a fase de vapor. É por isso fase é
proporcional à massa da substância. A expressão

que uma roupa úmida seca mais rapidamente quando ela é para
calcular esse calor é dada por: estendida em um varal.

Outro fator que acelera a evaporação é a temperatura do

líquido. A taxa de evaporação na superfície de uma xícara $Q = mL$ de chá quente é maior que a taxa de evaporação em uma

xícara de chá morno, pois as moléculas de água no chá Nessa equação, m é a massa da substância, e L é uma

quente apresentam uma energia cinética maior do que a propriedade termodinâmica conhecida como calor latente de

das moléculas presentes no chá morno. mudança de fase. Essa propriedade depende da substância,

A pressão sobre o líquido também interfere no processo da pressão e do tipo de mudança de fase. Por exemplo, a água,

de evaporação. Essa pressão atua dificultando a passagem sob a pressão de 1 atm, sofre fusão a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e entra em ebulição

de moléculas da fase líquida para a fase de vapor. Por isso, a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, apresentando um calor latente de fusão igual a

quanto menor for a pressão sobre o líquido, maior será a taxa 80 cal/g e um calor latente de vaporização igual a 540 cal/g .

de evaporação. Assim, uma poça de água tende a evaporar As interpretações físicas desses números são as seguintes:

mais rapidamente no alto de uma montanha, onde a pressão uma massa unitária de 1 g de água, a 1 atm e $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,

atmosférica é baixa, do que em uma cidade ao nível do mar. necessita receber 80 cal para passar do estado sólido para

A presença de ventos é outro fator que acelera a o estado líquido, enquanto a mesma massa unitária de

evaporação. Como você sabe, uma roupa estendida no água líquida, estando a 1 atm e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, precisa receber

varal seca com mais facilidade quando está ventando. 540 cal para passar para o estado de vapor. Esses valores

vassoura, arrastando as moléculas de água que já sofreram inversas, a solidificação e a condensação. Porém, como evaporação. Se essas moléculas permanecessem aí, elas esses processos resultam em uma liberação de calor, O vento que passa rente à roupa atua como uma espécie de são exatamente os mesmos para as mudanças de fase

dificultariam a saída de outras moléculas de água da roupa.

os valores do calor latente de solidificação e de condensação

O ponto de orvalho

são negativos. Assim, para a água a 1 atm, os valores do calor latente de solidificação e de condensação valem

o valor da pressão atmosférica. Por isso, essa pressão contém o ponto de fusão (P_f) e de vaporização (P_v), bem P_{FV} igual à soma das pressões parciais exercidas pelo ar e pelo como o calor latente de fusão (L Todos os componentes do ar atmosférico colaboram para -80 cal/g e -540 cal/g, respectivamente. A tabela a seguir

vapor de água presente na atmosfera. Em certo dia, essas P_f) e de vaporização (L_v),

de algumas substâncias puras à pressão de 1 atm.

pressões parciais podem valer, por exemplo, 0,98 atm e

0,02 atm, respectivamente (note que a soma é 1 atm, **Temperaturas e calores latentes de fusão e de**

à pressão atmosférica local). Para a pressão de 0,02 atm, **vaporização de algumas substâncias a 1 atm**

a temperatura de condensação ou de ebulição da água vale

18 °C (veja a primeira tabela da seção referente ao diagrama

de fases). Essa temperatura é chamada de ponto de orvalho Substância P_f (°C) L_f (cal/g) P_v (°C) L_v (cal/g)

do ar. Esse valor, naturalmente, depende da concentração de

vapor presente no ar. Uma atmosfera mais úmida apresenta Nitrogênio – 210 6,1 –196 48

um ponto de orvalho também maior. Etanol -114 26 78 210 uma pressão de vapor maior, e, conseqüentemente,

Quando a temperatura do ar abaixa, ficando igual ou inferior

Água 0 80 100 540

ao ponto de orvalho, parte do vapor de água presente no ar

sofre condensação. É exatamente isso o que ocorre quando Chumbo 327 5,9 1 750 205 você retira uma latinha de refrigerante de uma geladeira e a

expõe ao ar ambiente. Como as paredes da latinha estão Ferro 1 535 64 2 800 1 515 muito frias (em geral, abaixo de 10 °C), o ar próximo ao

recipiente atinge o ponto de orvalho. As gotas de água que A título de exemplo, apresentamos, na figura 6, o gráfico aparecem sobre as paredes da latinha são o resultado da da temperatura *versus* o tempo para o aquecimento de condensação de vapor de água em contato com o metal frio. 1,0 x 10³ g de gelo, inicialmente a -60 °C, que se acha em Podemos citar muitos outros exemplos de condensação um recipiente aberto para a atmosfera a 1 atm. O calor do vapor de água presente no ar. Nas manhãs de inverno, é fornecido por uma fonte de calor a uma taxa constante a fumaça que sai de sua boca, quando você respira forte, é o de 1,0 x 10⁴ cal/s. Observe que a temperatura se eleva vapor de água que você expele se condensando ao entrar em inicialmente até 0 °C, que é o ponto de fusão do gelo. contato com o ar ambiente frio. A fumaça que sai de uma xícara A fusão ocorre à temperatura constante. Depois de o gelo de café quente também é o resultado da condensação de vapor

que sai do café e se condensa ao entrar em contato com o ar ser completamente fundido, a temperatura se eleva até

mais frio sobre a xícara. Assim, a fumaça que enxergamos não 100 °C, que é o ponto de vaporização da água. Por último,

é vapor, mas sim pequenas gotas de água condensadas. o líquido se vaporiza à temperatura constante.

Calorimetria

T (°C) **02.** (UFU-MG) Um aparelho de micro-ondas é utilizado para

Vaporização aquecer 100 g de água (calor específico igual a 1 cal/g°C),

100 de 25 °C a 73 °C. O aparelho gera 100 W de potência, sendo

que 80% da energia produzida atinge a água e é totalmente convertida em calor. Nessas condições, assinale a alternativa

que corresponde a uma afirmação **VERDADEIRA**.

Observação: Use 1 cal = 4 J

A) A energia total gerada pelo aparelho de micro-ondas

Fusão em cada segundo é de 80 J.

0 B) O calor absorvido pela água durante esse processo 15 30 45 60

75 t(s) de aquecimento é de 4 800 J. tempo (s) C) O rendimento desse processo é de 20%.

D) O tempo necessário para esse processo de aquecimento

–60 é de 4 minutos.

Figura 6: Aquecimento isobárico de 1,0 kg de gelo a –20 °C. **03.** (UNIFESP–2009) A sonda Phoenix, lançada pela NASA,

detectou em 2008 uma camada de gelo no fundo de

Os aportes de calor em cada etapa desse processo podem uma cratera na superfície de Marte. Nesse planeta,

ser calculados por meio da equação do calor sensível o gelo desaparece nas estações quentes e reaparece nas

($Q = mc\Delta T$), para as etapas com elevação de temperatura, estações frias, mas a água nunca foi observada na fase

e pela equação do calor latente ($Q = mL$), para as etapas líquida. Com

auxílio do diagrama de fase da água, analise

com mudança de fase. Os valores de c que você deve usar as três afirmações seguintes: na primeira equação são $0,50 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, que

representam o calor específico do gelo e da água líquida,

respectivamente. Na segunda equação, os valores de L Líquido são 80 cal/g e 540 cal/g , que representam o calor latente de fusão e de vaporização da água, respectivamente. Para 760

encontrar os intervalos de tempo gastos em cada uma das Ponto Sólido quatro etapas do processo, basta dividir o calor de cada triplo

etapa pela potência de $1,0 \times 10^4 \text{ cal/s}$ da fonte de calor. Pressão (mmHg)
 $4,579$ Vapor

Finalizamos aqui a teoria deste módulo, deixando uma **FÍSICA** pergunta para você refletir. $0,0098 \text{ } 100$

Temperatura ($^\circ\text{C}$)

I. O desaparecimento e o reaparecimento do gelo, sem

a presença da fase líquida, sugerem a ocorrência de



PARA REFLETIR sublimação.



II. Se o gelo sofre sublimação, a pressão atmosférica



Para manter uma bebida gelada, por que é local deve ser muito pequena, inferior à pressão do



melhor adicionar gelo a 0 °C do que a mesma ponto triplo da água. massa de água líquida a 0 °C? III. O gelo não sofre fusão porque a temperatura no



interior da cratera não ultrapassa a temperatura do ponto triplo da água.

De acordo com o texto e com o diagrama de fases, pode-se

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

afirmar que está **CORRETO** o contido em A) I, II e III. D) I e II, apenas. **01.** (FUVEST-SP-2007) Dois recipientes iguais, A e B, B) II e III, apenas. E) I, apenas.

contendo dois líquidos diferentes, inicialmente a 20 °C, C) I e III, apenas.

são colocados sobre uma placa térmica, da qual recebem

aproximadamente a mesma quantidade de calor.

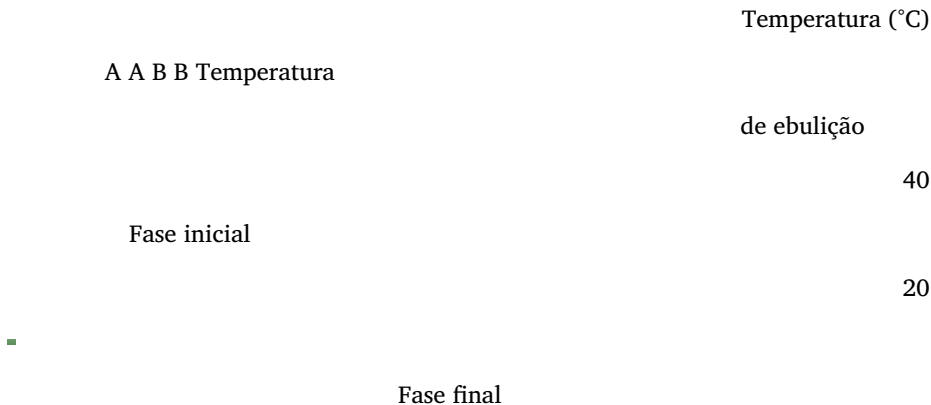
Com **04.** (PUC-SP-2007) O gráfico seguinte representa um trecho,

isso, o líquido em A atinge 40 °C, enquanto o líquido em B, fora de escala, da curva de aquecimento de 200 g de uma

80 °C. Se os recipientes forem retirados da placa e seus substância, aquecida por uma fonte de fluxo constante e

líquidos misturados, a temperatura final da mistura ficará igual a 232 cal/min.

em torno de



A) 0 20 30 Tempo de 45 °C. C) 55 °C. E) 65 °C. Δt aquecimento

B) 50 °C. D) 60 °C. (min)

Frente B Módulo 03

Sabendo que a substância em questão é uma das

02. (FCMMG) A Lua é um satélite árido, sem atmosfera,

apresentadas na tabela a seguir, o intervalo de tempo Δt é, com montanhas rochosas, planícies e crateras. Quando

em minutos, um valor uma de suas metades está iluminada pelo Sol, sua

temperatura pode chegar a 120 °C, enquanto, no mesmo

Calor específico no Calor latente momento, a face escura pode ter uma temperatura em

Substância estado líquido de ebulição torno de 150 °C abaixo de zero. Essa grande variação

(cal/g°C) (cal/g)

de temperatura é explicada, principalmente, por uma

Água 1,0 540 característica física das rochas, isto é,

Acetona A) o seu calor latente. 0,52 120

B) a sua capacidade térmica.

Ácido acético 0,49 94 C) o seu calor específico.

Álcool etílico D) o seu coeficiente de dilatação. 0,58 160

Benzeno 0,43 98 03. (FUVEST-SP) Dois recipientes de material termicamente

isolante contêm cada um 10 g de água a 0 °C. Deseja-se

A) acima de 130. D) entre 20 e 70. aquecer até uma mesma temperatura os conteúdos dos

B) entre 100 e 130. E) menor do que 20. dois recipientes, mas sem misturá-los. Para isso, é usado

C) entre 70 e 100. um bloco de 100 g de uma liga metálica inicialmente à temperatura de 90 °C. O bloco é imerso durante um certo

05. tempo num dos recipientes e depois transferido para o

(UFMA–2007) Maria e João estavam acampados numa

outro, nele permanecendo até ser atingido o equilíbrio

praia de São Luís, onde a temperatura ambiente era de

térmico. O calor específico da água é dez vezes maior

35 °C ao meio-dia. Nesse momento, verificaram que

que o da liga. A temperatura do bloco, por ocasião da

dois litros de água mineral estavam na temperatura

transferência, deve então ser igual a

ambiente. Resolveram então baixar a temperatura da

água, colocando-a num recipiente de isopor juntamente A) 10 °C. C) 40 °C. E) 80 °C.

com 200 g de gelo a –4 °C. Após a fusão de todo o B) 20 °C. D) 60 °C.

gelo, e estabelecido o equilíbrio térmico da mistura,

a temperatura da água era, aproximadamente, **04.**

(FUVEST-SP) O processo de pasteurização do leite consiste

em aquecê-lo a altas temperaturas, por alguns segundos,

Dados: L e resfriá-lo em seguida. Para isso, o leite percorre um $q_{\text{gelo}} = 80 \text{ cal/g}$; $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$;

sistema, em fluxo constante, passando por três etapas:

$c = 1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ água I. O leite entra no sistema (através de A), a 5 °C, sendo

aquecido (no trocador de calor B) pelo leite que já foi

A) 26,9 °C. C) 24,4 °C. E) 29,4 °C.

pasteurizado e está saindo do sistema.

B) 22,3 °C. D) 20,3 °C.

II. Em seguida, completa-se o aquecimento do leite,

EXERCÍCIOS PROPOSTOS através da resistência R, até que ele atinja 80 °C.

Com essa temperatura, o leite retorna a B.

III. Novamente, em B, o leite quente é resfriado pelo leite

01. frio que entra por A, saindo do sistema (através de C), (UFMG–2007) Numa aula de Física, o professor Carlos

Heitor apresenta a seus alunos esta experiência: dois a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

blocos – um de alumínio e outro de ferro –, de mesma T B A massa e, inicialmente, à temperatura ambiente, recebem

a mesma quantidade de calor, em determinado processo R $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de aquecimento.

O calor específico do alumínio e o do ferro são, C
respectivamente, $0,90\text{ J}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ e $0,46\text{ J}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$.

$20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Questionados quanto ao que ocorreria em seguida, dois

Em condições de funcionamento estáveis, e supondo
dos alunos, Alexandre e Lorena, fazem, cada um deles,

que o sistema seja bem isolado termicamente, pode-se
um comentário:

afirmar que a temperatura indicada pelo termômetro T,

• Alexandre: “Ao final desse processo de aquecimento, que monitora a temperatura do leite na saída de B,

os blocos estarão à mesma temperatura.” é aproximadamente de

• Lorena: “Após esse processo de aquecimento, ao se A) $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. C) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. E) $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

colocarem os dois blocos em contato, fluirá calor do B) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. D) $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.
bloco de ferro para o bloco de alumínio.”

Considerando-se essas informações, é **CORRETO**

05. (Unimontes-MG–2007) Num calorímetro de capacidade

afirmar que térmica $10,0\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$, tem-se uma substância líquida de

A) apenas o comentário de Alexandre está certo. massa 200 g e calor específico de $0,2\text{ cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$, a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Adicionando-se nesse calorímetro uma massa de 100 g e

B) apenas o comentário de Lorena está certo.

de calor específico 0,1 cal/g.°C, à temperatura de 30 °C,

C) ambos os comentários estão certos. a temperatura de equilíbrio será de

D) nenhum dos dois comentários está certo. A) 55 °C. B) 45 °C. C) 30 °C. D) 70 °C.

32 Coleção Estudo

Calorimetria

06. (UFT-2007) Após mergulharem em uma piscina e, em Temperatura R

seguida, saírem dela, Daniel e André fazem observações

sobre o que cada um deles sentiu durante aquela

experiência. S

Daniel disse: “Quando mergulhei, imediatamente senti

frio, devido à transmissão de calor, por condução, do meu

corpo para a água da piscina.”

André afirmou: “Assim que saí da piscina, senti frio devido

Calor fornecido

ao calor latente de vaporização da água.”

Considerando-se as duas situações descritas, é **CORRETO** Sejam L_R e L_S o calor latente de fusão dos materiais

afirmar que R e S, respectivamente, e c_R e c_S o calor específico dos

A) apenas a observação de André está certa. materiais, no estado sólido, também respectivamente.

Considerando-se essas informações, é **CORRETO**

B) apenas a observação de Daniel está certa.

afirmar que

C) ambas as observações estão certas. A) $c_R < c$ e $L < L$.

D) nenhuma das duas observações está certa. $s \leq r$

B) $c < c_e$ e $L > L_r$. $s \leq r$

07. (EFOA-MG) Colocando água gelada no interior de um C) $c > c_e$ e $L < L_r$. $s \leq r$

copo de vidro seco, observa-se, com o passar do tempo,

a formação de gotículas de água na parede externa do D) $c_r > c_s$ e $L_r > L_s$.

copo. Isso se deve ao fato de que

A) a água gelada atravessa a parede do copo. **10.** (UFV-MG–2007) No interior de um calorímetro de capacidade

térmica desprezível, são misturados 120 g de gelo a -15°C

B) as gotas de água sobem pela parede interna do copo

e 5 g de água líquida a 20°C . O calorímetro é mantido

alcançando a parede externa, onde se depositam.

hermeticamente fechado, à pressão interna de 1,0 atm,

C) a água fria cria microfissuras na parede do copo de condição em que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g,

vidro, pelas quais a água passa para fora. os calores específicos do gelo e da água líquida são,

D) o vapor de água presente na atmosfera se condensa. respectivamente, 0,5 cal/($g^\circ\text{C}$) e 1,0 cal/($g^\circ\text{C}$), e a

E) o copo é de vidro. temperatura de fusão do gelo é 0°C . É **CORRETO**
FÍSICA concluir, então, que, na situação de equilíbrio térmico,

08. haverá, no interior do calorímetro, (CEFET-PR) A geada é um fenômeno que ocorre

durante a estação fria no Sul do Brasil. Esse fenômeno A) apenas água líquida, à temperatura acima de 0°C .

pode ser ilustrado no diagrama de estado da água, na B) água líquida e gelo, à temperatura de 0°C .

transformação de C) apenas gelo, à temperatura de 0 °C.

Pressão D) apenas gelo, à temperatura abaixo de 0 °C. Ponto crítico

II I V E) apenas água líquida, à temperatura de 0 °C.

11. (UFMG–2010) Considere estas informações:

- a temperaturas muito baixas, a água está sempre na fase sólida;

IV Ponto tríplice • aumentando-se a pressão, a temperatura de fusão
III da água diminui. Temperatura

Assinale a alternativa em que o diagrama de fases pressão

A) I para II. *versus* temperatura para a água está de acordo com

B) V para IV. essas informações.

C) III para IV. A) C) o D) I para V. Líquido o Líquido Sólido Sólido E) II para III.
Pressã Pressã Gás Gás

09. (UFMG–2009) Num laboratório de Física, faz-se uma 0 0 Temperatura (K) Temperatura (K) experiência com dois objetos de materiais diferentes – B) D) R e S –, mas de mesma massa, ambos, inicialmente, no o Líquido o Líquido estado sólido e à temperatura ambiente. Em seguida, Sólido Sólido os dois objetos são aquecidos e, então, mede-se a Pressã Gás Pressã temperatura de cada um deles em função da quantidade Gás

de calor que lhes é fornecida. Os resultados obtidos nessa

medição estão representados neste gráfico: Temperatura (K) Temperatura (K) 0 0

Editora Bernoulli **33**

Frente B Módulo 03

12. (UFMG) Júlia coloca uma esfera de cobre e uma **15.** (UFMG) Colocando-se uma esfera de ferro de massa 100 g

de alumínio, ambas de mesma massa e à mesma na cavidade de um bloco de gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, observa-se a

temperatura, sobre um bloco de gelo. Após um certo fusão de 30 g de gelo, quando a temperatura da esfera

tempo, ela observa que essas esferas permanecem em passa de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a do gelo. **CALCULE** o calor

equilíbrio nas posições indicadas nesta figura: específico do ferro, sabendo-se que são necessárias

80 calorias para fundir 1 grama de gelo.

Cu

16. (FUVEST-SP) O gráfico representa a variação, com o

A tempo, da temperatura de um sistema constituído de um

Gelo pedaço de gelo de 500 g a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

T ($^{\circ}\text{C}$)

10

Todas as dimensões estão representadas em escala

na figura. Sejam d_{Cu} e d_{Al} as densidades e c_{ICu} e c_{Al} 0 5 85 95 t (s)

os calores específicos, respectivamente, do cobre e do

-10

alumínio. Com base nessas informações, é **CORRETO**

afirmar que

A) $d < d_e < c$. Cu A) **DESCREVA** o estado físico do sistema entre os

B) $d_{Cu} > d_A$ e $c_{Cu} < c_A$. B) Se o calor específico do gelo é de $0,50 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, Al Cu Al instantes 5 s e 85 s.

C) $d_{Cu} < d_A$ e $c < c_{CuA}$. **CALCULE** a quantidade de calor absorvida pelo gelo

D) $d > d_e < c$. Cu A l Cu A l entre os instantes 0 e 5 s.

13. (UERJ–2010) A tabela a seguir mostra apenas alguns **17.** (UFJF-MG–2006)

Um bloco de chumbo de 6,68 kg é valores, omitindo outros, para três grandezas associadas retirado de um forno a 300°C e colocado sobre um grande a cinco diferentes objetos sólidos: bloco de gelo a 0°C . Supondo que não haja perda de • massa; calor para o meio externo, qual é a quantidade de gelo

- calor específico; que deve ser fundida?
- energia recebida ao sofrer um aumento de temperatura

Dados:

de 10°C .

• calor específico do gelo a $0^\circ\text{C} = 2100 \text{ J/(kg.K)}$

Objetos **m (g)** **c (cal·g⁻¹·°C⁻¹)** **Q (cal)** • calor latente de fusão do gelo = $334 \times 10^3 \text{ J/kg}$

I $0,3300$ • calor específico do chumbo = 230 J/(kg.K)

II • calor latente de fusão do chumbo = $24,5 \times 10^3 \text{ J/kg}$ $0,2400$

III • temperatura de fusão do chumbo = 327°C 150450

IV $1500,4$

V $1000,5$ **SEÇÃO ENEM**

A alternativa que indica, respectivamente, o objeto

de **01.** (Enem–2010) Sob pressão normal (ao nível do mar),

maior massa, o de maior calor específico e o que recebeu a água entra em ebulição à temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tendo

maior quantidade de calor é: por base essa informação, um garoto residente em uma

A) I, III e IV C) II, IV e V cidade litorânea fez a seguinte experiência:

B) I, II e IV D) II, V e IV • Colocou uma caneca metálica contendo água no

fogareiro do fogão de sua casa.

14. (ITA-SP–2006) Um bloco de gelo com 725 g de massa é

colocado num calorímetro contendo $2,50\text{ kg}$ de água a • Quando a água começou a ferver, encostou

uma temperatura de $5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, verificando-se um aumento cuidadosamente a extremidade mais estreita de

de 64 g na massa desse bloco, uma vez alcançado uma seringa de injeção, desprovida de agulha, na

o equilíbrio térmico. Considere o calor específico da superfície do líquido e, erguendo o êmbolo da seringa,

água ($c = 1,0\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$) o dobro do calor específico do aspirou certa quantidade de água para seu interior,

gelo, e o calor latente de fusão do gelo de 80 cal/g . tapando-a em seguida.

Desconsiderando a capacidade térmica do calorímetro e

a troca de calor com o exterior, assinale a temperatura • Verificando após alguns instantes que a água da

inicial do gelo. seringa havia parado de ferver, ele ergueu o êmbolo

A) $-191,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ C) $-34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ E) $-14,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ da seringa, constatando, intrigado, que a água voltou

B) $-48,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ferver após um pequeno deslocamento do êmbolo. D) $-24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

34 Coleção Estudo

Calorimetria

Considerando o procedimento anterior, a água volta
a **03.** (Enem–2006) A Terra é cercada pelo vácuo espacial e,

ferver porque esse deslocamento assim, ela só perde energia ao irradiá-la para o espaço.

A) permite a entrada de calor do ambiente externo para O aquecimento global que se verifica hoje decorre de

pequeno desequilíbrio energético, de cerca de 0,3%,
o interior da seringa.

entre a energia que a Terra recebe do Sol e a energia

B) provoca, por atrito, um aquecimento da água contida irradiada a cada segundo, algo em torno de 1 W/m^2 .

na seringa. Isso significa que a Terra acumula, anualmente, cerca

C) produz um aumento de volume que aumenta o ponto de $1,6 \times 10^{22} \text{ J}$.
Considere que a energia necessária para

de ebulição da água. transformar 1 kg de gelo a 0°C em água líquida seja igual a $3,2 \times 10^3 \text{ J}$. Se toda a energia acumulada anualmente

D) proporciona uma queda de pressão no interior da fosse usada para derreter o gelo nos polos (a 0°C),

seringa que diminui o ponto de ebulição da água. a quantidade de gelo derretida
anualmente, em trilhões

E) possibilita uma diminuição da densidade da água que de toneladas, estaria
entre

facilita sua ebulição. A) 20 e 40.

B) 40 e 60.

02. (Enem–2009) O Sol representa uma fonte limpa e C) 60 e 80.

inesgotável de energia para o nosso planeta. Essa energia D) 80 e 100.

pode ser captada por aquecedores solares, armazenada

E) 100 e 120.

e convertida posteriormente em trabalho útil. Considere

determinada região cuja insolação – potência solar

04. (Enem–1999) A panela de pressão permite que os

incidente na superfície da Terra – seja de 800 watts/m².

alimentos sejam cozidos em água muito mais rapidamente

Uma usina termossolar utiliza concentradores solares do que em painéis convencionais. Sua tampa possui uma

parabólicos que chegam a dezenas de quilômetros de borracha de vedação que não deixa o vapor escapar,

extensão. Nesses coletores solares parabólicos, a luz não passa através de um orifício central sobre o qual

refletida pela superfície parabólica espelhada é focalizada assenta um peso que controla a pressão. Quando em uso,

em um receptor em forma de cano e aquece o óleo contido desenvolve-se uma pressão elevada no seu interior. Para

em seu interior a 400 °C. O calor desse óleo é transferido a sua operação segura, é necessário observar a limpeza

para a água, vaporizando-a em uma caldeira. O vapor do orifício central e a existência de uma válvula de

em alta pressão movimenta uma turbina acoplada a um segurança, normalmente

situada na tampa. O esquema

FÍSICA

gerador de energia elétrica. da planta de pressão e um diagrama de fase da água são

apresentados a seguir.





líquido

Diagrama de fase da água

5

) 4

3

Líquido

2

Considerando que a distância entre a borda inferior e a Vapor 1

borda superior da superfície refletora tenha 6 m de largura Pressão (atm 0

e que focaliza no receptor os 800 watts/m² de radiação 0 20 40 60 80 100 120 140 160

provenientes do Sol, e que o calor específico da água é Temperatura (°C)

1 cal g⁻¹.°C⁻¹ = 4 200 J kg⁻¹ °C⁻¹, então o comprimento A vantagem do uso de
panela de pressão é a rapidez para

linear do refletor parabólico necessário para elevar a o cozimento de alimentos e
isto se deve

temperatura de 1 m³ (equivalente a 1 t) de água de 20 °C

A) à pressão no seu interior, que é igual à pressão externa.

para 100 °C, em uma hora, estará entre

B) à temperatura de seu interior, que está acima da

A) 15 m e 21 m.

temperatura de ebulição da água no local.

B) 22 m e 30 m.

C) à quantidade de calor adicional que é transferida à panela.

C) 105 m e 125 m.

D) à quantidade de vapor que está sendo liberada pela válvula.

D) 680 m e 710 m.

E) à espessura da sua parede, que é maior que a das

E) 6 700 m e 7 150 m. painéis comuns.

Editora Bernoulli 35

Frente B Módulo 03

05. (Enem–1999) Se, por economia, abaixarmos o fogo sob D) um líquido pode ser superaquecido acima de sua

uma panela de pressão logo que se inicia a saída de vapor temperatura de ebulição normal, mas de forma

pela válvula, de forma simplesmente a manter a fervura, nenhuma nesse líquido haverá formação de bolhas.

o tempo de cozimento E) a água em uma panela pode atingir a temperatura

A) será maior, porque a panela esfria. de ebulição em alguns minutos, e é necessário

B) será menor, pois diminui a perda de água. completamente. muito menos tempo para fazer a água vaporizar

C) será maior, pois a pressão diminui.

D) será maior, pois a evaporação diminui.

E) não será alterado, pois a temperatura não varia.

GABARITO

06. (Enem–2009) A água apresenta propriedades **Fixação**

físico-químicas que a coloca em posição de destaque como

substância essencial à vida. Entre essas, destacam-se 01. B

as propriedades térmicas biologicamente muito

importantes, por exemplo, o elevado valor de calor latente 02. D de vaporização. Esse calor latente refere-se à quantidade 03. D de calor que deve ser adicionada a um líquido em seu 04. A ponto de ebulição, por unidade de massa, para convertê-lo em vapor na mesma temperatura, que, no caso da água, 05. C

é igual a 540 calorias por grama. **Propostos**

A propriedade físico-química mencionada no texto confere à água a capacidade de 01. B

A) servir como doador de elétrons no processo de 02. C fotossíntese.

03. D

B) funcionar como regulador térmico para os organismos vivos. 04. D

C) agir como solvente universal nos tecidos animais e 05. A vegetais. 06. C

D) transportar os íons de ferro e magnésio nos tecidos 07. D vegetais.

08. C

E) funcionar como mantenedora do metabolismo nos organismos vivos. 09. C

07. 10. D (Enem–2009) *A Constelação Vulpécula (Raposa)*

encontra-se a 63 anos-luz da Terra, fora do sistema solar. 11. D

Ali, o planeta gigante HD 189733b, 15% maior que Júpiter, 12. B

concentra vapor de água na atmosfera. A temperatura

13. D

do vapor atinge 900 graus Celsius. “A água sempre está

lá, de alguma forma, mas às vezes é possível que seja 14. B

escondida por outros tipos de nuvens”, afirmaram os 15. $c = 0,12 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$

astrônomos do Spitzer Science Center (SSC), com sede

em Pasadena, Califórnia, responsável pela descoberta. 16. A) sólido + líquido, ocorrendo fusão

A água foi detectada pelo espectrógrafo infravermelho, B) 2 500 cal

um aparelho do telescópio espacial Spitzer.

17. $m = 1,38$
kg

CORREIO BRAZILIENSE, 11 dez. 2008 (Adaptação).

Seção Enem

água em sua atmosfera a 900 graus Celsius. Sobre a

vaporização, infere-se que 01. D

A) se há vapor de água no planeta, é certo que existe 02. A

água no estado líquido também. 03. B

B) a temperatura de ebulição da água independe da 04. B

pressão, em um local elevado ou ao nível do mar, ela

ferve sempre a 100 graus Celsius. 05. E

C) o calor de vaporização da água é o calor necessário 06. B

para fazer 1 kg de água líquida se transformar em 07. C 1 kg de vapor de água a 100 graus Celsius.

36 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Gases 04 B

Um gás é formado por moléculas ou átomos que se movem
Temperatura e pressão críticas

caoticamente. Além de existir muito espaço vazio entre **de algumas substâncias**

essas partículas, a força de ligação entre elas é pequena,

se comparada à força de coesão molecular dos sólidos e Gás T (°C) P (atm) c c

dos líquidos. Enquanto o volume de um sólido ou de um Oxigênio -118 50 líquido depende quase que exclusivamente da temperatura,

o volume de um gás é sensível à temperatura e à pressão Nitrogênio -147 33

aplicada. A alta compressibilidade dos gases os distingue

Dióxido de carbono 31 73

dos sólidos e dos líquidos.

Amônia 133 112

Neste módulo, vamos analisar o comportamento físico

dos gases. Iniciaremos esse estudo explicando o que é um Água 374 218 gás ideal e apresentando um critério para classificar um gás

em ideal ou não ideal. Depois, relacionaremos a pressão, Observe que o oxigênio e o nitrogênio apresentam

o volume e a temperatura de um gás ideal por meio de uma temperaturas críticas muito baixas, bem menores do que

equação de estado. A seguir, usaremos essa equação para qualquer temperatura ambiente na Terra. Além disso, os

estudar várias transformações em gases ideais, tais como valores da pressão crítica desses gases são muitas vezes

uma expansão isotérmica e o aquecimento isovolumétrico. maiores do que as pressões parciais que eles exercem na

Por fim, apresentaremos um modelo físico capaz de prever atmosfera terrestre. Por isso, oxigênio e nitrogênio, em

valores de pressão e de temperatura de um gás ideal em condições atmosféricas, comportam-se como gases ideais.

função da velocidade de suas moléculas. Porém, quando comprimidos

a pressões de 100 atm ou

mais, o oxigênio e o nitrogênio deixam de se comportar

GÁS IDEAL como gases ideais. O ar atmosférico é constituído de

nitrogênio, oxigênio e traços de outros gases, como o argônio e o dióxido de carbono. Nas condições da atmosfera

O critério de classificação de um da

Terra, todos esses gases se comportam como ideais. Por isso, o comportamento do ar atmosférico é bem próximo

gás ideal do comportamento de um gás ideal.

Um gás é ideal quando as suas moléculas ou átomos se

acham tão distantes uns dos outros que a força de interação **A**
equação de estado de um gás ideal

entre eles é desprezível. Nessas condições, eles se movem

livremente, e um modelo simples pode ser usado para A pressão (P), o volume (V) e a temperatura absoluta (T)

prever o comportamento físico do gás. Um gás tende ao de um gás ideal relacionam-se por meio de uma expressão

comportamento de gás ideal à medida que a sua densidade conhecida como equação de estado de um gás ideal. Para

diminui, pois isso implica o aumento do distanciamento obter essa equação, vamos descrever uma experiência

molecular. A densidade de um gás, por sua vez, diminui envolvendo

três amostras gasosas, uma de amônia, uma

à medida que a temperatura aumenta e a pressão sobre o de nitrogênio e outra de oxigênio. Os gases acham-se à

gás diminui. A rigor, um gás comporta-se idealmente quando temperatura ambiente e estão contidos em cilindros dotados

sua temperatura é muito maior que a temperatura crítica de um êmbolo. A experiência consiste em reduzir lentamente

para aquele gás e quando a pressão é muito menor que a a pressão sobre os gases, de maneira que a temperatura

pressão crítica. A tabela seguinte apresenta a temperatura permaneça constante. Como consequência, os volumes

e a pressão críticas de algumas substâncias puras. dos gases aumentam e as suas densidades diminuem.

Editora Bernoulli 37

Frente B Módulo 04

A figura 1 mostra o resultado da experiência por meio de A título de exemplo, usaremos a equação de Clapeyron

um gráfico, cuja abscissa é a densidade e cuja ordenada para calcular a massa de oxigênio no balão de 0,5 L mostrado

é o quociente $PV/(nT)$ dos gases. Nesse quociente, na figura 2. A temperatura do gás é a mesma do laboratório,

o fator n mede a quantidade de gás em mols (ou múltiplos 22°C (295 K) e é indicada por um termômetro de ambiente.

e submúltiplos do mol). Um mol de partículas significa A pressão do gás é registrada pelo manômetro (tubo em U),

$6,02 \times 10^{23}$ partículas. A quantidade n relaciona-se com a que usa mercúrio como fluido de trabalho. Essa pressão é

massa da amostra gasosa (m) e com a massa molar do gás (M) de 2 atm , valor dado pela soma da pressão atmosférica,

por meio da seguinte razão: 1 atm, com a pressão de 1 atm exercida pela coluna de



76 cm de mercúrio. O volume de gás expandido no tubo do

n m manômetro é desprezível se comparado ao volume do balão = (a figura está fora de escala). M

Pressão atmosférica = 1 atm

PV (Pa.m³/mol.K) Amônia nT Nitrogênio

Oxigênio

8,314 O₂

V = 0,5 L

T = 295 K 76 cm

Densidade P = 2 atm

Figura 1: Curvas de PV/(nT) em função da densidade à

temperatura ambiente. Temperatura

ambiente

Note que as três curvas convergem para o mesmo valor, 22 °C

8,314 Pa.m³/mol.K, quando as densidades dos gases se 3 Mercúrio

aproximam de zero, ou seja, quando o gás se aproxima do Figura 2: Experimento para determinação da massa de oxigênio

comportamento ideal. Essa tendência, de fato, é verificada no balão.

para qualquer gás. O valor para o qual o quociente PV/(nT)

Substituindo os dados na equação de Clapeyron, achamos

converge é conhecido como constante universal dos gases a seguinte quantidade de oxigênio no balão: ideais, R. Igualando $PV/(nT)$ à constante R, e rearranjando

os termos, obtemos a seguinte expressão: $PV = nRT$, $n = \frac{PV}{RT} = \frac{2,05 \times 10^5}{8,314 \times 295} = 0,041$ mol



$PV = nRT$ Utilizando esse valor, sabendo que a massa molar do



oxigênio é $M = 32$ g/mol e que o número de Avogadro é

Essa é a equação de estado que estávamos procurando, $N = 6,02 \times 10^{23}$ moléculas/mol, podemos determinar o α

chamada de equação de Clapeyron. No uso dessa equação, número de moléculas (N) e a massa (m) de oxigênio por

os dois valores mais usuais para a constante universal dos meios dos seguintes cálculos:

gases são: $N = n \cdot N_A = 0,041 \text{ mol} \cdot 6,02 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 2,47 \times 10^{22} \text{ moléculas}$

pois 1 Pa (pascal, unidade de pressão no Sistema A unidade Pa.m³/mol.K pode ser expressa como J/mol.K, $m = n.M = 0,041 \text{ mol.}32 \text{ g} = 1,3 \text{ g mol}$

Internacional) é igual a 1 N/m², e 1 N.m é igual a 1 J.

Transformação de estado

Usando uma calculadora, verifique que os dois valores de R

apresentados anteriormente são equivalentes (lembre-se, O estado termodinâmico de um gás ideal é definido por três

ainda, de que 1 atm = 1,013 x 10⁵ Pa e 1 m³ = 10³ L). grandezas básicas: a pressão P, a temperatura T e o volume V.

Na prática, você pode usar qualquer um dos valores de R, A figura 3 mostra um diagrama de superfície, P x V x T, de

desde que haja coerência com as unidades escolhidas para certa amostra de gás ideal. Qualquer estado de equilíbrio

as outras grandezas. Quando você usar R = 8,314 J/mol.K, do gás é representado por um ponto sobre essa superfície.

as unidades de P e V devem ser N/m² e m³, respectivamente. A curva 1-2, indicada sobre tal superfície, representa uma

No outro caso, para R = 0,08207 atm.L/mol.K, as unidades transformação de estado sofrida pelo gás. O estado inicial (1)

de P e V devem ser atm e L, respectivamente. Nos dois casos, é definido pelos valores P , V e T , enquanto o estado final (2) n é

dado em mol e a temperatura, em kelvin. pelos valores P , V e T . 2 2 2

38 Coleção Estudo

Gases



P_1

o



Pressã 2



P_{40}



2.50 V

T_{30}

1 tura 2 00 x1 Volum

era 20



e 60 Temp V T



Figura 3: Transformação de estado sofrida por um gás ideal.

Independentemente da forma da curva 1-2, e também

dos fatores que causaram a transformação no gás, podemos relacionar os estados 1 e 2 pela equação de estado de um gás

ideal. Para isso, basta aplicar essa equação aos estados 1 e 2,

e explicitar o produto nR para esses estados, conforme *Figura 4: Medição da pressão manométrica do ar em um pneu.*

indicado a seguir: Para responder à primeira pergunta, vamos relacionar

$nR = \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ o estado inicial (estado 1) com o estado do ar após o aquecimento (estado 2). Substituindo os valores conhecidos

Como a constante universal dos gases (R) e a quantidade nessa relação, obtemos a seguinte pressão:

e o lado direito dessas equações é igual. Igualando esses P de mols do gás (n) não variam, o produto n.R é constante, $P_1 V_1 = P_2 V_2$, $P_1 V_1 = 46,7 \text{ PSI}$ $\Rightarrow P_2 V_2 = 46,7 \text{ PSI}$

$$P_1 T_1 = P_2 T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{P_1 T_1}{P_2} = \frac{293 \text{ K} \cdot 46,7 \text{ PSI}}{46,7 \text{ PSI}} = 293 \text{ K}$$

termos, obtemos: $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Também podemos comparar estados de gases ideais $P_1 V_1 = P_2 V_2$
Nesse cálculo, desprezamos possíveis vazamentos de $T_1 T_2$ ar e

variações no volume do pneu. Por isso, n e n foram cancelados, o mesmo ocorrendo com V e V. **FÍSICA**

diferentes ou estados de um mesmo gás cuja massa Para responder à segunda pergunta, podemos relacionar o

varia durante a transformação (por exemplo, o ar em estado 2 com o estado do ar após a retirada de ar do pneu

um pneu que está vazando). Nesses casos, em geral, (estado 3). Assim, obtemos: a quantidade de gás no estado 1 (n) é diferente daquela no

estado 2 (n). Por isso, devemos estabelecer uma relação $P_1 V_1 = P_2 V_2$
 $P_1 V_1 = 46,7 \text{ PSI}$, $P_2 V_2 = 46,7 \text{ PSI}$, $P_1 V_1 = P_2 V_2$, entre os estados 1 e 2, considerando invariável apenas a $n T_1 T_2$. $n T_1 T_2 = n T_2 T_1$ constante R, e não mais o produto n.R, como fizemos antes.

Explicitando R para os estados 1 e 2, obtemos: Novamente, cancelamos os volumes. O valor da

problemas. Por exemplo, na figura 4, considere que a As relações anteriores são úteis para resolver muitos R P V P V temperatura do ar mantém-se, praticamente, constante $T_1 = T_2$ quando um pouco de ar é retirado do pneu. Por isso, $n_1 T_1 = n_2 T_2$ as temperaturas T_1 e T_2 também foram canceladas. Assim, n_2 é 94% de n_1 , ou seja, uma massa de ar igual a 6% da massa n_1 inicial deve ser retirada para a pressão voltar ao valor inicial. temperatura do ar no pneu seja igual a 20 °C (293 K) e que

o manômetro marque 29 PSI. Na próxima seção, abordaremos algumas transformações . De fato, a pressão real do ar

no pneu é a soma da pressão manométrica com a pressão especiais. Antes, propomos uma questão para você refletir e

atmosférica (1 atm = 14,7 PSI), pois um manômetro mede apresentamos um exercício resolvido para reforçar as ideias

a diferença entre a pressão real e a pressão atmosférica. estudadas até agora. A pressão real do ar no pneu, portanto, vale 43,7 PSI.

Agora, usando as relações anteriores, vamos responder a

duas perguntas referentes à situação mostrada na figura 4:

(1) Qual será a pressão no pneu se a temperatura do ar subir **PARA REFLETIR** para 40 °C (313 K)? (2) Que fração de ar deve ser retirada

do pneu para a pressão voltar a seu valor inicial? Por que a figura 1 sugere que a pressão

1. *PSI significa libra-força por polegada quadrada – unidade* críticas do oxigênio e do nitrogênio? *de pressão no sistema inglês.*

Editora Bernoulli 39



114

114

114



•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

•

•

•

•

•

■

■





Frente B Módulo 04

EXERCÍCIO RESOLVIDO

TRANSFORMAÇÕES

01. PARTICULARES NO ESTADO Um

tanque de $1,0 \text{ m}^3$, com oxigênio a 25°C e $5,0 \text{ atm}$,

está conectado por uma válvula a outro tanque com $5,0 \text{ kg}$ DE GASES IDEAIS

de nitrogênio a 35°C e sujeito a uma pressão de $2,0 \text{ atm}$.

Nesta seção, vamos estudar três transformações de estado

A válvula é aberta e, pouco depois, o sistema atinge o equilíbrio, em que uma das variáveis de estado, o volume,

equilíbrio térmico com a vizinhança, a 20°C . Determinar o a pressão ou a temperatura, de um gás ideal permanece

volume do segundo tanque e a pressão final de equilíbrio constante.

Transformação isovolumétrica

Resolução:

O aquecimento ou o resfriamento de um gás contido em

A quantidade de gás no segundo tanque pode ser transformação, também chamada de isocórica ou isométrica, um tanque é uma transformação isovolumétrica. Nessa

calculada a partir da massa do gás ($5,0 \times 10^3 \text{ g}$) e da a pressão P e a temperatura T do gás variam, mas o volume V

massa molar do nitrogênio (28 g/mol). Usando esses permanece constante. Usando a equação de estado de um

dados, obtemos: gás ideal, podemos explicitar P em função de T , obtendo:

$$n = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad \frac{nR}{V} = \frac{179 \text{ mol}}{28 \text{ g}} = \frac{CT}{T}$$

O termo $C = nR/V$ é constante (de valor positivo), pois

Substituindo esse valor e as condições iniciais de o volume e a quantidade de gás (n) não variam, e R é a

temperatura e pressão na equação de Clapeyron, obtemos constante universal dos gases. Portanto, a equação $P = CT$

o seguinte volume para o segundo tanque: representa uma reta ascendente que passa pela origem do

diagrama P versus T , em que C é o coeficiente angular da

reta. Em outras palavras, P varia proporcionalmente com T , $P = CT$, $C = \frac{P}{T} = \frac{179 \text{ mol}}{0,082 \cdot 308 \text{ K}} = 6,8 \text{ mol/K}$ de forma que, se o gás for aquecido a volume constante até $2T$ que a temperatura absoluta T dobre de valor, a pressão P

$V = 2,3 \times 10^{-3} \text{ L} = 2,3 \text{ m}^3$ também irá dobrar, se T triplicar, P também irá triplicar,

e assim por diante. Esse comportamento está ilustrado no

Agora, substituindo o volume do primeiro tanque e as primeiro gráfico da figura 5.

condições iniciais de temperatura e pressão na equação Substituindo a relação entre as escalas Kelvin (T) e

de Clapeyron, encontramos a seguinte quantidade de Celsius (t), $T = t + 273$, na equação $P = CT$, obtemos:

oxigênio: $P = C(t + 273)$. Essa equação também representa uma reta

de inclinação C , conforme está ilustrado no segundo gráfico

5,0 atm, 1,0 x 10³ L n = 0,082 mol, 298 K e 3 atmL. da figura 5.
Entretanto, agora, a reta não corta mais a origem

molK do gráfico, mas sim o ponto de coordenadas (-273, 0).

$$\Rightarrow n = 205 \text{ mols } O_2 + 3 \text{ mols } P$$

0

Após a abertura da válvula, os gases se misturam e atingem

a temperatura ambiente (20 °C = 293 K) e uma pressão P.

O volume total é a soma dos volumes dos tanques:

$$1,0 + 2,3 = 3,3 \text{ m}^3 \text{ P}$$

(desprezando-se os volumes da o tubulação e da válvula entre os tanques). A quantidade, em

mols, de mistura é: 179 + 205 = 384 mols. Substituindo T₀ = 273 K e T = 293 K na equação de Clapeyron, obtemos:

esses valores na equação de Clapeyron, obtemos: T (K) T (°C)

Figura 5: Pressão versus temperatura em uma transformação isovolumétrica de um gás ideal. molK.

Transformação isobárica

$$\Rightarrow P = 2,8 \text{ atm}$$

Na transformação isobárica, o volume e a temperatura

Comentário: do gás variam, mas a pressão se mantém constante.

Em todas as condições de temperatura e pressão Um processo isobárico muito usual ocorre quando um gás é aquecido em um cilindro com êmbolo. A pressão externa que analisadas, o oxigênio e o nitrogênio comportaram-se

atua sobre o gás possui um valor numericamente igual ao

como gases ideais. Por isso, a equação de Clapeyron pôde valor da pressão atmosférica somado com o valor da pressão

ser aplicada em todas as etapas da solução do problema. exercida pelo peso do êmbolo. Antes do aquecimento,

40 Coleção Estudo

Gases

o êmbolo está em repouso, e a pressão interna exercida O resultado dessa experiência sugere que, na transformação

pelo gás é igual à pressão externa. Quando o aquecimento isotérmica, o volume V varia inversamente com a pressão P .

se inicia, a temperatura do gás aumenta ligeiramente e, Esse comportamento é previsto pela equação de estado de

consequentemente, a pressão do gás também aumenta de um gás ideal, conforme está indicado a seguir: um valor infinitesimal. Esse aumento é tão pequeno que

mesmo um manômetro muito sensível não pode detectá-lo. nRT C
Apesar de pequeno, esse desequilíbrio de pressão faz o $P = =$

V V

êmbolo iniciar o movimento de subida. Por sua vez, essa

expansão gera um alívio na pressão interna. O resultado é O termo $C = nRT$ é constante, pois n , R e T são constantes.

que a pressão interna permanece constante, com valor bem Assim, de acordo com $P = C/V$, a pressão P e o volume V

próximo ao valor da pressão externa, diferindo desta apenas são grandezas inversamente proporcionais. Podemos

por um valor infinitesimal. visualizar esse comportamento por meio

do gráfico P versus V

Agora, vamos determinar a relação entre o volume V e a mostrado na figura 8, em que as duas curvas representam

temperatura absoluta T para a transformação isobárica do dois processos que ocorrem a temperaturas constantes e

gás. De acordo com a equação de estado de um gás ideal, iguais a T e $2T$. Essas curvas são denominadas isotérmicas.

V varia em função de T de acordo com:

Na isotérmica mais interna (temperatura T), considere

V no estado definido pelo volume V e pela pressão P . $T = T_0$. Observe que, se o gás expandir isotermicamente e o P

volume dobrar, a pressão ficará dividida por 2, se o volume

O termo $C = nR/P$ é constante porque a pressão P e a

quadruplicar, a pressão ficará dividida por 4, e assim por

dos gases. A equação $V = CT$ representa uma reta que passa diante. Naturalmente, um comportamento de proporção quantidade de gás n não variam, e R é a constante universal

pela origem do diagrama V versus T , e C é o coeficiente angular inversa entre P e V também é verificado para a isotérmica

dessa reta, ou seja, V e T são diretamente proporcionais, de temperatura $2T$. conforme está ilustrado no primeiro gráfico da figura 6.

O segundo gráfico mostra a variação de V com a temperatura P em graus Celsius.

$V = V_0$

$3V_0$

$2V_0$ **FÍSICA** $0,2T$ $P/4$ $0,2T$

T Figura 8: Gráfico pressão versus volume para uma transformação
3T 0 2T 0 0 -273 isotérmica de um gás ideal. T (K) T (°C)

Figura 6: Gráfico volume versus temperatura para uma Outra informação importante sobre o gráfico P versus V é

transformação isobárica de um gás ideal. que as isotérmicas mais externas representam temperaturas

maiores do que aquelas associadas às isotérmicas mais

TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

internas. Na figura 8, note que a temperatura referente

à isotérmica externa é o dobro da temperatura referente à

A figura 7 ilustra uma experiência para estudar uma isotérmica interna. Esse fato pode ser justificado por meio

transformação isotérmica de um gás, processo no qual a da equação $PV = nRT$. Como as isotérmicas representam

temperatura se mantém constante, enquanto a pressão e o uma mesma amostra gasosa, n é uma constante.

volume variam. Em um tubo em U, existe ar aprisionado (gás Assim, o produto PV é proporcional a T . Dessa forma, como

ideal), pressurizado com a ajuda de uma coluna de mercúrio. esse produto vale $P V$ para a isotérmica interna e $2P V$ para 0 0 0 0 Quando a pressão sobre o ar vale P (1 atm, à pressão 0 a isotérmica externa, concluímos que a temperatura absoluta

atmosférica), o volume é V . Adicionando mais mercúrio, a 0 associada à curva externa é o dobro da temperatura absoluta

pressão aumenta para $2P$, e o volume diminui para $V /2$. Quando 0 0 referente à outra curva. Outra maneira de justificar essas

a pressão aumenta para $3P$, o volume diminui para $V /3$. 0 0 temperaturas seria imaginar um estado qualquer sobre a

$V_0 = 1$ atm isotérmica interna, digamos, o estado definido pelo volume

$2V$ e pela pressão $P/2$. Agora, considere que o gás seja o o
 152 cm aquecido a volume constante até a pressão dobrar (estado
 Ar definido por: $2V, P$). Como vimos, na transformação 76 cm o o
 v v isovolumétrica, P é proporcional a T . Assim, concluímos que $\frac{P}{2} = \frac{V}{3}$
 o a temperatura absoluta realmente dobra de valor.

A seguir, apresentamos uma pergunta para você refletir e
 Mercúrio um exercício resolvido, ambos referentes às transformações
Figura 7: Montagem para estudar a transformação isotérmica. gasosas abordadas
 nesta seção.

Editora Bernoulli 41

Frente B Módulo 04

Na etapa final, o gás é aquecido a volume constante, e a

pressão aumenta proporcionalmente com a temperatura



absoluta. No estado final (estado 3), a temperatura do



PARA REFLETIR



gás é $T_3 = 600 \text{ K}$, e a pressão pode ser determinada da



Você abriu a porta da geladeira, pegou o leite seguinte forma:



e fechou a porta, mas esqueceu de pegar a 5 $P_1 P_2 P_3 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$, $x 10^5 \Rightarrow =$
 $\Rightarrow = 5$ manteiga. Ao abrir a porta de novo, você faz bem $P_1 5 \times 10^5 \text{ Pa}$ T
 $T 600 400 2$ mais força. Por que isso aconteceu? $3 2$

Por fim, com os valores obtidos, podemos construir o
gráfico P versus V para essa sequência de transformações.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Observe que as
temperaturas dos estados 1, 2 e 3 foram

indicadas por meio de três curvas de temperaturas
constantes (isotérmicas).

02. Uma quantidade de 0,50 mol de um gás ideal, sob a P (10⁵ Pa) pressão de 1,0 x 10⁵ Pa, ocupa um volume de 8,3 x 10⁻³ m³

em um cilindro com êmbolo, conforme mostra a figura seguinte. Em seguida, o gás é aquecido até que o êmbolo

3

toque no batente. Quando o êmbolo toca no batente, 1,5

o volume do gás é o dobro do inicial. A seguir, o gás é 1 600 K 2

aquecido até 600 K. Construir o gráfico da pressão *versus* 1,0

o volume para o aquecimento do gás, indicando os valores 400 K

de pressão (P), volume (V) e temperatura (T) relevantes 200 K

nesse processo.

Batente 8,3 16,4 P (10⁻³ m³) 2V 0

v TEORIA CINÉTICA DOS GASES

0

Nesta seção, vamos apresentar um modelo para predição do comportamento dos gases, baseado no movimento das moléculas do gás. Esse modelo, conhecido como teoria cinética dos gases, foi desenvolvido na segunda metade do século XIX e representa um marco no desenvolvimento da

teoria atômica da matéria. Essa teoria fundamenta-se em

quatro suposições:

1. As colisões das moléculas do gás contra as paredes do recipiente que contém o gás são elásticas.

Resolução:

2. O tempo de duração da colisão de uma molécula em

Primeiramente, vamos calcular o valor da temperatura

inicial do gás (estado 1). Substituindo $n = 0,50 \text{ mol}$, P_1 uma parede é desprezível. e V_1

na equação de estado, e usando $R = 8,3 \text{ J/mol.K}$, obtemos: 3. As moléculas do gás obedecem às leis do movimento

$$P V = nRT \Rightarrow 1,0 \times 10^5 \cdot 8,3 \times 10^{-3} = 0,50 \cdot 8,3 T_1 \Rightarrow T_1 = 200 \text{ K}$$

$\Rightarrow T_1 = 200 \text{ K}$ 4. O número de moléculas é muito grande, e, portanto,

Durante o movimento do êmbolo, a pressão se o gás pode ser analisado estatisticamente.

mantém constante, e a temperatura absoluta aumenta

proporcionalmente com o volume. Como o volume Usando essas ideias, pode-se deduzir a seguinte expressão

dobra quando o êmbolo toca os batentes, nessa posição para calcular a pressão de um gás monoatômico ideal em

(estado 2), temos: função da velocidade das moléculas.



$$P_2 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = 2V = 16,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad P = 0,2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2} \quad V$$

$$T_2 = 2T_1 = 400 \text{ K}$$

De acordo com essa equação, pode-se concluir que a

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

pressão do gás é proporcional à energia cinética de uma

molécula ($m v^2/2$). Essa energia depende diretamente da o **01.** (UFV-MG-2008) Uma quantidade fixa de um gás real se temperatura absoluta do gás. Para demonstrar isso, primeiro, comporta cada vez mais como um gás ideal se vamos calcular a energia total do gás (U), que é a soma da A) aumentarmos a sua pressão e a sua temperatura.

energia cinética de todas as moléculas (como o gás é ideal, B) diminuirmos a sua pressão e a sua temperatura.

as forças de interação entre as moléculas são desprezíveis e, C) aumentarmos a sua pressão e diminuirmos a sua

assim, podemos desprezar a energia potencial do conjunto temperatura.

de moléculas), $U = N m v^2/2$. Combinando essa expressão D) diminuirmos a sua pressão e aumentarmos a sua o

com a equação de P em função de V e com a equação de temperatura.

estado de um gás ideal, $PV = nRT$, obtemos a seguinte **02.** (Mackenzie-SP-2007) Um cilindro metálico de 41 litros equação para a energia total: contém argônio (massa de um mol = 40 g) sob pressão

de 90 atm à temperatura de 27 °C. A massa de argônio

3 3 no interior desse cilindro é de

$$U = PV = nRT$$

2 2 Dado: $R = 0,082 \text{ atm.L}/(\text{mol.K})$

A) 10 kg. B) 9 kg. C) 8 kg. D) 7 kg. E) 6 kg.

Se dividirmos essa equação por N , acharemos a expressão

para a energia cinética de apenas uma molécula. Antes de **03.** (UFLA-MG-2006) Certa quantidade de um gás ideal está fazer isso, é conveniente apresentar uma nova constante, contida em um recipiente de paredes rígidas e volume V ,

definida pelo quociente entre a constante universal dos gases inicialmente à temperatura $T = 400 \text{ K}$ e exercendo uma n ideais e o número de Avogadro: pressão $P = 1,0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Utiliza-se parte desse gás, n

de forma que a pressão baixe para $P = 6,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

k_B e a temperatura para $T = 300 \text{ K}$. Pode-se afirmar que a $2,8314 \text{ J/molK}$ / . = = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ / quantidade de gás utilizada foi de $N = 6,02 \times 10^{23}$ moléculas mol / A) 25%. B) 20%. C) 80%. D) 40%.

k_B é a constante de Boltzmann, um número que desempenha **04.** (UFC) Um gás ideal sofre o processo cíclico mostrado

um papel de grande relevância no estudo da Termodinâmica. no

diagrama $P \times T$, conforme a figura a seguir. O ciclo **FÍSICA**

Lembrando que a quantidade de gás pode ser calculada por n é composto pelos processos termodinâmicos $a \rightarrow b$, $b \rightarrow$

$n = N/N_A$ e $c \rightarrow a$, podemos substituir essa expressão na equação A

de U . Dividindo tudo por N , obtemos a seguinte equação P para energia cinética de uma molécula:

c/b



$$U = 3$$

$$kT$$

É mais apropriado se referir à grandeza U como sendo

a energia cinética média por molécula, uma vez que nem Assinale, entre as alternativas a seguir, aquela que contém

todas as moléculas apresentam a mesma velocidade (v , na o diagrama $P \times V$ equivalente ao ciclo $P \times T$. verdade, é a velocidade quadrática média das moléculas). A) $P \ D) \ P$

Segundo a equação anterior, a energia cinética média de $c \ b \ c \ b$ uma molécula é diretamente proporcional à temperatura

absoluta do gás, independentemente de sua natureza. Isso a a nos permite tirar uma conclusão importante: $V \ V$

B) $P \ E) \ P$

Gases ideais diferentes, à mesma temperatura, possuem $c \ b \ c \ b$ a mesma energia cinética média por molécula.

a a

Esse fato, por sua vez, implica uma segunda conclusão $V \ V$

importante: C) P

$c \ b$

À mesma temperatura, quanto menor a massa molar do gás, maior a sua velocidade média molecular. a

Frente B Módulo 04

05. (CEFET-MG–2009) Pela teoria cinética dos gases, Se, mantidas as demais características do sistema,

a pressão de um gás está relacionada à sua temperatura T , a temperatura passar a ser $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, o valor de h variará

ao volume V por ele ocupado, à massa m , ao número N de, aproximadamente,

e à velocidade quadrática média v de suas moléculas. m A) 5%. D) 50%.

Um gás terá sua pressão aumentada se

B) 10%. E) 100%.

A) N diminuir e m diminuir.

C) 20%.

B) T diminuir e V aumentar.

D) v **04.** (UFMG) A figura mostra um cilindro que contém um gás diminuir e T aumentar. C) V aumentar e N diminuir.

E) m aumentar e v m ideal, com um êmbolo livre para se mover. O cilindro aumentar.

m está sendo aquecido. Pode-se afirmar que a relação que

EXERCÍCIOS PROPOSTOS MELHOR descreve a transformação sofrida pelo gás é

01. Êmbolo (UFMG–2006) Regina estaciona seu carro, movido a gás

natural, ao Sol. Gás

Considere que o gás no reservatório do carro se comporta como um gás ideal.

Assinale a alternativa cujo gráfico **MELHOR** representa a pressão em função da temperatura do gás na situação descrita.

A) o o C)

A) $p/V =$
constante.

Pressã Pressã B) $p/T =$ constante.

C) $V/T =$
constante.

D) $pV =$
constante.

Temperatura Temperatura

B) o D) o **05.** (FCMMG) Oxigênio foi introduzido em um botijão durante

o inverno europeu a 0°C e enviado ao Brasil para ser

Pressã Pressã usado num hospital, cuja temperatura média é de 30°C .

Na nova situação, é **CORRETO** afirmar que

A) o oxigênio sofreu uma transformação isobárica.

Temperatura Temperatura

B) a pressão do oxigênio dentro do botijão não se alterou.

02. (UEL-PR) Uma bolha de ar é formada junto ao fundo C) o número de moléculas de oxigênio dentro do botijão

de um lago, a 5,0 m de profundidade, escapa e sobe à aumentou.

superfície. São dadas D) o número de colisões das moléculas de oxigênio contra

• pressão atmosférica = $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ as paredes do botijão aumentou.

• densidade da água = $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Considerando constante a temperatura da água, pode-se

concluir que o volume da bolha, na subida, 06. (UFV-MG) Dez mol de um gás perfeito sofrem uma

A) permanece o mesmo. D) aumenta 20%. transformação ABC, como mostrado no diagrama;

B) aumenta 5%. E) aumenta 50%. p representa a pressão do gás, V o seu volume e T a

C) aumenta 10%. temperatura absoluta, sendo T_A , T_B e T_C as temperaturas

nos estados A, B e C, respectivamente. Pode-se afirmar

03. (FUVEST-SP) O cilindro da figura a seguir é fechado por um **CORRETAMENTE** que

ênbolo que pode deslizar sem atrito e está preenchido por

uma certa quantidade de gás que pode ser considerado p (N.m⁻²) A $2p$ como ideal. À temperatura de 30 °C, a altura h na qual o 1

ênbolo se encontra em equilíbrio vale 20 cm (ver figura; C B p h se refere à superfície inferior do êmbolo). 1

$$g \quad V \quad 3V \quad 3 \quad 1 \quad 1 \quad V \quad (m)$$

$$A) T_B = T_C. D) T_B = 2T_A.$$

$$h \quad B) T = 6T. E) 2T = 3T. C \quad A \quad B \quad A$$

$$C) T = 3T. A \quad B$$

44 Coleção Estudo

Gases

07. (EFOA-MG) Os gráficos a seguir ilustram transformações **11.** (PUC Minas–2009) Um balão de aniversário, cheio de

termodinâmicas de uma massa constante de um gás gás hélio, solta-se da mão de uma criança, subindo até

ideal, relacionando as variáveis de estado termodinâmico, grandes altitudes. Durante a subida, é **CORRETO** afirmar:

pressão P , volume V e temperatura T . A) O volume do balão diminui.

P B) A pressão do gás no interior do balão aumenta. P P V V

C) O volume do balão aumenta.

D) O volume do balão permanece constante.

T T V T P

(I) (II) (III) (IV) (V) **12.** (FUVEST-SP-2009) Em um *freezer*, muitas vezes, é difícil

Dos gráficos anteriores, aqueles que podem representar repetir a abertura da porta, pouco tempo após ter sido fechada,

os processos isotérmico, isobárico e isovolumétrico são, devido à diminuição da pressão interna. Essa diminuição ocorre

respectivamente, porque o ar que entra, à temperatura ambiente, é rapidamente

A) I, II e III. resfriado até a temperatura de operação, em torno de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. D) I, III e V. Considerando um *freezer* doméstico, de 280 L, bem vedado,

B) II, III e IV. E) III, II e V. em um ambiente a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão atmosférica P_0 , a pressão

C) III, IV e II. interna poderia atingir o valor mínimo de

Observação: Considere que todo o ar no interior do

08. (UFMG) Um mergulhador, na superfície de um lago *freezer*, no instante em que a porta é fechada, está

onde a pressão é de 1,0 atm, enche um balão com ar e à temperatura do ambiente.

então desce a 10 m de profundidade. Ao chegar nessa A) 35% de P . C) 67% de P . E) 95% de P . 0 0 0

profundidade, ele mede o volume do balão e vê que este B) 50% de P_0 . D) 85% de P_0 .

foi reduzido a menos da metade. Considere que, dentro

da água, uma variação de 10 m na profundidade produz **13.** (UFLA-MG) De acordo com a teoria cinética dos gases,

uma variação de 1 atm de pressão. pode-se afirmar que

Se T_s é a temperatura na superfície e T_p a temperatura a A) a energia cinética média das moléculas de um gás é

10 m de profundidade, pode-se afirmar que proporcional à temperatura do gás em °C.

A) $T < T_p$. B) as moléculas de dois gases, de massas diferentes e s_p

B) T_s a uma mesma temperatura absoluta T , apresentam $= T_p$

. FÍSICA

energias cinéticas médias diferentes.

C) $T_s > T_p$. C) as moléculas de dois gases, de massas diferentes e

D) não é possível fazer comparação entre as duas a uma mesma temperatura absoluta T , apresentam

temperaturas com os dados fornecidos. a mesma energia cinética média.

09. D) a energia cinética média das moléculas de um gás

(UFU-MG-2009) O gráfico a seguir ilustra a pressão de depende da temperatura absoluta, da pressão,

um gás ideal em função do seu volume durante uma do volume e do tipo de moléculas.

expansão isotérmica de um estado inicial A até um estado

final B. Das alternativas a seguir, a que

CORRETAMENTE 14. (CESCEM-SP) Se a energia cinética média das moléculas

representa o volume final V_f de um gás aumentar e o volume do mesmo permanecer

constante,

) 2,0 A A) a pressão do gás aumentará e a sua temperatura

aumentará.

B) a pressão permanecerá constante e a temperatura

1,5 aumentará. B

Pressão (atm) C) a pressão e a temperatura diminuirão.

Volume (litros) D) a pressão diminuirá e a temperatura aumentará.

E) Todas as afirmações estão incorretas.

A) 600 litros C) 800 litros

B) 1 200 litros D) 1 800 litros 15. (UFVJM-MG-2009) Certa quantidade de gás ideal está

confinada em um cilindro fechado provido de um êmbolo

10. Seja um mol de um gás ideal a uma temperatura de móvel. Sabendo que o gás está nas CNTP, faça o que se pede.

400 K e à pressão atmosférica p_0 . Esse gás passa por uma A) **DETERMINE** a temperatura do gás ao passar por uma

expansão isobárica até dobrar seu volume. Em seguida, transformação isocórica em que a pressão passe para

esse gás passa por uma compressão isotérmica até voltar 20% da inicial.

a seu volume original. Qual a pressão ao final dos dois B) **DETERMINE** a pressão final do gás que, após a

processos? transformação isocórica, passa por uma transformação

A) 0,5p isotérmica, em que o volume se reduza a 1/4 do D) 5,0p o o volume inicial. B) 1,0p E) 10,0p o o C) **FAÇA** um diagrama $P \times V$ representando a condição

C) 2,0p₀ inicial e as duas transformações dos itens A e B.

Editora Bernoulli **45**

Frente B Módulo 04

SEÇÃO ENEM A cena descrita anteriormente ocorre porque, durante a viagem, o ar aprisionado no frasco tende a se

01. A) expandir devido ao aumento da pressão interna, *Engenheiros alemães desenvolveram um equipamento*

e o derramamento de xampu poderia ser evitado se para captar água potável da umidade do ar, em um

o frasco fosse comprimido um pouco antes de ser processo energeticamente autônomo e descentralizado,

fechado.

que funciona utilizando unicamente fontes renováveis

de energia. [...] Por mais seca que seja uma região, B) expandir devido à redução da pressão externa, e

mesmo se for um deserto, o ar ambiente contém água. o derramamento de xampu poderia ser evitado se

A umidade do ar é fornecida na forma de um percentual o frasco fosse comprimido um pouco antes de ser

que expressa a relação entre a pressão parcial de vapor de fechado.

água presente na mistura ar-água em relação à pressão de C) aquecer devido ao aumento de temperatura, e o

vaporização da água numa determinada temperatura. [...] derramamento de xampu poderia ser evitado se o

frasco fosse colocado em um saco de plástico com gelo.

Disponível em:

D) resfriar devido à diminuição da temperatura, e o
index.php> . Acesso em: 09 jun. 2009. derramamento de xampu poderia ser evitado
se o

Considere um galpão de 2 000 m frasco fosse colocado em um saco de plástico com 3 , onde a temperatura

é de 27 °C, e a umidade relativa do ar é de 50%. água morna.

O volume teórico de água que pode ser extraída desse E) comprimir devido ao aumento da pressão externa,

ambiente vale e o derramamento de xampu poderia ser evitado se

o frasco fosse aquecido antes de ser fechado.

Dados:

Constante universal dos gases ideais: 8 J/mol.K

Massa molar da água: 18 g/mol

GABARITO

Densidade da água: 1 kg/L

Pressão de vaporização da água a 27 °C = $3,6 \times 10^3$ Pa

Fixação

A) 27 L.

B) 54 L. 01. D 02. E 03. B 04. B 05. E

C) 60 L.

Propostos

D) 72 L.

E) 95 L. 01. D 08. C

02. E 09. C

02. Muitas marcas de xampus condicionam o produto em 03. B 10. C

embalagens plásticas dotadas com tampa de pressão.

04. C 11. C

A figura a seguir ilustra uma cena não rara, que pode

ocorrer quando uma pessoa volta de uma cidade praiana, 05. D 12. D

como o Rio de Janeiro, para uma cidade de maior altitude, 06. E 13. C

como Belo Horizonte. Ao abrir a mala, o viajante se

07. C 14. A

surpreende ao ver que a tampa do frasco se abriu,

derramando xampu sobre a roupa. 15. A) $T = 54,6$ K

B) $P = 0,8$ atm

C) P (atm)

Estado inicial

(CNTP)

Estado final

1,0

0,80 273 K

Transformação isocórica

xampu 0,20 54,6 K

V/4 V V

Transformação isotérmica

Seção Enem

01. A 02. B

46 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE Espelhos esféricos 03 C

ESPELHO ESFÉRICO

Espelho côncavo Espelho convexo

Se retirarmos uma fatia dessa esfera, obteremos uma calota Considere

uma esfera oca espelhada interna e externamente. C F V V F C Luz Luz
 esférica. A parte interna da calota é um espelho esférico



côncavo, e a externa é um espelho esférico convexo.



A figura a seguir mostra os elementos básicos de um espelho
 esférico.

Observe, na primeira figura, que a luz pode passar
 pelo centro de curvatura e pelo foco do espelho côncavo.

Espelho Tais pontos estão à frente do espelho. Já no
 espelho convexo, Espelho

côncavo convexo o centro de curvatura e o foco estão atrás do espelho.

r C F V por esses pontos, no espelho convexo. R Nenhum raio
 luminoso, seja incidente ou refletido, passa

As Leis da Reflexão são também obedecidas pelos espelhos
 côncavos e convexos. Como são esféricos, a normal (N), em
 qualquer ponto desses espelhos, deve passar pelo centro de
 f curvatura. Veja as figuras a seguir.

r: eixo principal do espelho; R I N R C: centro de curvatura do espelho
 (centro da esfera que I θ N θ originou a calota);

θ θ

V: vértice do espelho (ponto central da calota esférica); C R R

F: foco do espelho (ponto médio do segmento CV); C Côncavo

f = FV: distância focal do espelho; R Convexo R

$R = CV$: raio de curvatura do espelho.

Observe que o raio incidente (R_i), a normal (N) e o raio r

O foco é o ponto médio do segmento CV , que é o raio refletido (R_r) estão no mesmo plano e que os ângulos de R_i

de curvatura (R) do espelho. Assim, a distância focal (f) é incidência e de reflexão são iguais. metade desse segmento, ou seja:

Existem quatro raios, chamados de raios notáveis, que

você deve conhecer bem. São eles:

$$f = R/2$$

2.1. O raio que incide paralelamente ao eixo principal é

Embora os espelhos côncavo e convexo apresentem os refletido na direção do foco. No espelho côncavo, o raio

refletido passa pelo foco e, no espelho convexo, é o
mesmos elementos, eles diferem totalmente em relação ao

prolongamento do raio refletido que passa pelo foco;

tipo de imagem que formam. Para perceber o motivo dessa

diferença, analise as figuras a seguir, que representam os 2. **O raio que incide na direção do foco** é refletido perfis de um espelho côncavo e de um espelho convexo e, paralelamente ao eixo principal. No espelho côncavo,

também, os elementos que estão à frente dos espelhos o raio incide passando pelo foco e, no convexo, o raio

(a luz que incide sobre os espelhos e é refletida por eles e deve incidir na direção do foco, que está atrás do

o observador). espelho;

Frente C Módulo 03

3. O raio que incide no vértice do espelho é refletido

DETERMINAÇÃO GRÁFICA DAS

para o outro lado do eixo principal, formando, com

IMAGENS este, um ângulo igual ao ângulo de incidência (o eixo

principal coincide com a normal);

4. O raio que incide na direção do centro de Em todas as situações apresentadas a seguir, vamos

curvatura é refletido sobre si mesmo – os ângulos considerar o objeto retilíneo, vertical e com o “pé” (parte inferior

de incidência e de reflexão são iguais a zero (a normal do objeto) apoiado sobre o eixo principal. Para determinarmos

passa pelo centro dos espelhos). a posição em que a imagem do objeto será formada, traçamos

O quadro a seguir mostra o comportamento dos raios dois raios incidentes, quaisquer dos quatro notáveis, saindo da

notáveis. Compare a forma como os raios são refletidos “cabeça” (parte superior) do objeto. Desenhamos, a seguir,

pelos dois espelhos. os raios **refletidos** e, no encontro deles (ou dos seus

prolongamentos), obtemos a imagem da “cabeça” do objeto. A

Espelho côncavo imagem do “pé” estará apoiada sobre o eixo principal do espelho Espelho convexo

e na mesma vertical que a imagem da “cabeça”.

1 R 1 R

R R I I Espelho convexo

C F V F V O espelho convexo apresenta um único tipo de imagem, C

independentemente da posição do objeto em relação ao

R R espelho. Veja a seguir.

2 R I 2

R R R R R R

C F V V F C R I

3 R I H H O O R I H α I 3 R R I I Objeto α V Imagem F



α α Observador α α

C F V V F C D D O I

R_R Observe que os raios refletidos não se cruzam.

4 4 Entretanto, prolongando cada um deles (linhas vermelhas),



R_I R_R R podemos determinar a posição em que a imagem da _I

extremidade superior do objeto será formada, que será

C F V V F C

R_R aquela em que se encontram esses prolongamentos.

O observador, à frente do espelho, vê a imagem no local indicado, pois tem a sensação de que a luz saiu daquela

Observe no quadro anterior que as situações 1 e 2, no posição. A imagem formada pelo espelho convexo é **sempre**

espelho côncavo e no espelho convexo, ilustram um princípio 1. virtual (formada pelos prolongamentos dos raios óptico importante: a **reversibilidade dos raios luminosos**.

refletidos);

Veja, ainda, que, no espelho convexo, são os prolongamentos

dos raios de luz que passam pelo foco, ou pelo centro do 2. direta (objeto e imagem de cabeças para cima);

espelho. 3. mais perto do espelho do que o objeto ($D < D_I$); _I

Os raios de luz representados no quadro anterior 4. de dimensões menores que o objeto ($H < H$; $L < L$).¹

apresentam aquele comportamento somente se os espelhos **OIO** forem **parabólicos** e obedecerem às condições de Gauss. 5. localizada entre o foco e o vértice do espelho. Os espelhos esféricos de pequena abertura (espelhos

Se o objeto se aproxima (ou se afasta) do espelho, com curvatura pouco acentuada) têm comportamento

semelhante ao dos espelhos parabólicos – dizemos que eles a imagem também se aproxima (ou se afasta) dele. Veja a

se aproximam das condições de Gauss. Por esse motivo, seguir que, independentemente da posição do objeto, o raio

todos os espelhos do nosso livro serão considerados esféricos que incide sobre o espelho paralelamente ao eixo principal será

e de pequena abertura. refletido de forma que seu prolongamento passe pelo foco.

48 Coleção Estudo

Espelhos esféricos

Assim, a imagem estará sempre dentro do “triângulo” **Espelho**
côncavo destacado.

O espelho côncavo, ao contrário do convexo, pode formar

Objeto O diversos tipos de imagens, dependendo da posição do objeto

v em relação ao foco e ao centro de curvatura do espelho. v v v o o Assim, a

imagem pode ser real ou virtual e pode ser maior,

F menor ou de mesmas dimensões que o objeto. Veja os

Observador V Imagens casos a seguir.

Objeto entre o infinito e o foco

No caso de o objeto se colocar muito distante do espelho ($\infty > D > f$).

(“infinito”), a sua imagem estará praticamente sobre o foco.

Se a imagem formada pelo espelho convexo é sempre v Objeto

menor que o objeto, qual a sua utilidade? A resposta é

simples: o espelho convexo fornece um campo visual maior, θ

e, com isso, um número maior de objetos pode ser visto, $C F \theta V v$ simultaneamente, através dele. Daí a sua aplicação em I

garagens, lojas, supermercados, retrovisores de motos e RR Imagem automóveis, etc. Veja, a seguir, a comparação do campo



visual de um espelho plano com o de um espelho convexo $R R R R$ de mesmas dimensões, para um observador (O).

Observador

Veja que, nesse caso, os próprios raios que saíram da “cabeça”

$I I_{CP}$ do objeto, e que foram refletidos pelo espelho, se encontram.

FÍSICA

O No ponto de cruzamento dos raios refletidos, ocorre a formação



F de uma **imagem real** da “cabeça” do objeto (a luz está



chegando realmente a esse ponto). Os “pés” do objeto e da imagem do objeto estão sobre o eixo principal. Logo, a imagem é **invertida**, tanto vertical quanto lateralmente. Se houvesse uma tela (folha de papel, por exemplo) na posição da imagem, esta seria projetada nessa tela.

Na figura, I e I' são as imagens do observador formadas. Uma característica importante de toda imagem **real** se $C P$

pelos espelhos convexo e plano, respectivamente. refere aos deslocamentos da imagem em relação ao objeto.

O campo visual foi traçado a partir da imagem do observador. Ao contrário da imagem virtual, a imagem real se desloca no

e das extremidades dos espelhos. Compare agora os campos sentido oposto ao do objeto (em relação ao dispositivo óptico).

visuais dos dois espelhos. Se o objeto se **aproxima** do espelho, a sua imagem se

afasta deste e vice-versa. A figura a seguir mostra um

Observe, na fotografia a seguir, a imagem da máquina que

objeto sendo deslocado sobre o eixo principal de um espelho, fotografou uma bola metálica de Natal (que se comporta como aproximando-se deste. Observe que a imagem do objeto um espelho convexo). Veja a grande quantidade de objetos

afasta-se do
espelho.

que estão sendo vistos por reflexão nessa pequena bola,

que apresenta um campo visual enorme. O_{∞} O O O O I 23



C F

∞ I₁



I_{VI}



2



I₃ R_R



Observador





Frente C Módulo 03

Em todas as situações representadas na figura anterior, **Objeto**
entre o foco e o vértice ($D < f$)

o

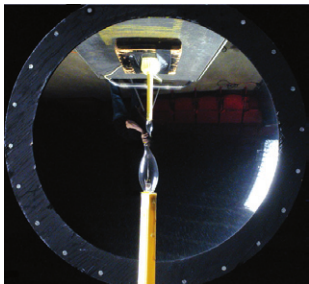
a imagem do objeto é **real** e **invertida**. As únicas

diferenças entre essas imagens se referem às suas D e às suas respectivas localizações. Em qualquer

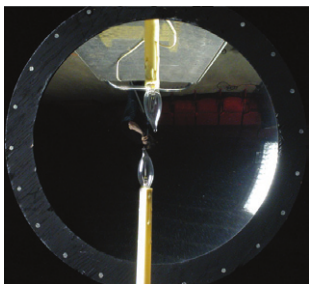
um dos casos, a imagem estará localizada dentro do Objeto

“triângulo” destacado. H V I O v H I Veja, a seguir, as fotografias das imagens mencionadas. O

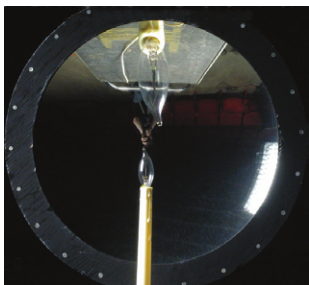
0



F θ V Imagem



R_R



01 02 03 as.harvard.edu

R

www.f

Observador

Veja, a seguir, as particularidades de cada imagem.



Veja que, nesse caso, os raios refletidos não se encontram.

Posição do Natureza, posição e dimensões Os prolongamentos desses raios, porém, se cruzam atrás

objeto da imagem

do espelho. No ponto desse cruzamento, é formada uma

Além de C (O **imagem do objeto. As suas características**

São: 1), Imagem **real, invertida** e localizada

$D > 2f$ entre C e F (I). $D < D$ e $H < H$ 0 1 1 0 1 0 1. imagem virtual (formada pelos prolongamentos dos

Sobre C (O), Imagem **real, invertida** e localizada 2 raios refletidos);

$D = 2f$ sobre C (I2). $D_I = D_0$ e $H_I = H_0$ 2. imagem direta (objeto e imagem de cabeças para

cima);

Entre C e F (O), Imagem **real, invertida** e localizada 3

$2f > D_0 > f$ entre C e o infinito (I3). $D_I > D_0$ e $H_I > H$ 3. **existe inversão lateral e de profundidade;** 0

4. as dimensões (altura e largura) da imagem são

Observe que, à medida que o objeto se aproxima do maiores que as do objeto ($H > H$ e $L > L$); 1 0 1 0

foco, a posição da imagem **tende** a chegar ao infinito. 5. a imagem está sempre atrás do espelho e mais

Dois destaques importantes a respeito das imagens reais distante deste que o objeto ($D > D$). 1 0

formadas pelo espelho côncavo são:

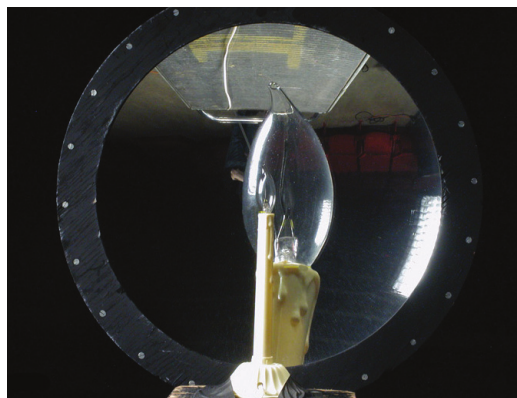
A situação apresentada tem uma importante aplicação prática no dia a dia. Nesse caso, o espelho é chamado de

1. Os objetos O e O foram colocados de modo que $1/3$ “espelho de aumento” e é muito usado para se obter uma

se perceba o princípio da reversibilidade dos raios imagem direta e maior do rosto de uma pessoa, por exemplo.

luminosos. Se um objeto for colocado na posição I, 3 Veja a seguir:

a sua imagem estará na posição de O. Se I fosse $3/1$



um objeto, a sua imagem estaria na posição de O. 1 Ou seja, para uma posição fixa de qualquer um dos

elementos (objeto ou imagem), a posição do outro

elemento independe do fato de este elemento ser

objeto ou imagem.

2. Uma situação prática importante acontece se o objeto as.harvard.edu

estiver muito distante do espelho ($D_{\text{www.f}} > 2f$). Nesse

O

caso, dizemos que o objeto está no “infinito” (O). Nesse caso, se o objeto (próximo ao vértice) se afasta do ∞

Assim, a imagem formada é real, invertida, muito espelho,

aproximando-se cada vez mais do foco, a imagem

pequena e se localiza, praticamente, sobre o foco também se afasta do espelho e tende a chegar ao infinito.

(D f). Os telescópios refletores e algumas antenas ı Veja, a seguir, algumas posições possíveis para a imagem

$\cong$

no espelho côncavo, quando o objeto se desloca entre o receptoras de sinais de satélite são exemplos

vértice e o foco. As imagens virtuais estão sempre dentro importantes que ilustram essa situação. do “triângulo” destacado.

50 Coleção Estudo

Espelhos esféricos

Do

vo H Imagens

O

Objeto θ

$$R \quad v \quad \theta_i \quad F \quad H \quad H \quad D_{II} \quad A = i = H \quad D_{RO} \quad D_f \quad O \quad I_3 \quad O \quad V_2 \quad O \quad I_{11} \quad I_2 \quad I_3 \quad \infty$$

Essa relação permite calcular a ampliação (A) fornecida

pelo espelho. Observe a proporcionalidade entre as alturas

da imagem e do objeto e as respectivas distâncias da imagem

Veja uma comparação interessante. Analise as figuras

e do objeto ao espelho. Assim, se a distância da imagem ao

anteriores, que mostram a região das possíveis imagens espelho (D) é, por exemplo, o triplo da distância do objeto l

nos dois espelhos. As imagens virtuais, no espelho côncavo, ao espelho (D), a altura da imagem (H) é também o triplo o

vão do vértice ao infinito; e as imagens reais estão entre o foco e o infinito. Dessa forma, nenhuma imagem está da altura do objeto (H). Da relação anterior, temos que: o

localizada entre o foco e o vértice do espelho côncavo. • se $A > 1$, a imagem é **maior** do que o objeto e está No espelho convexo, ao contrário, as imagens estão, **mais distante** do espelho do que o objeto. exclusivamente, localizadas entre o foco e o vértice.

• se $A = 1$, a imagem é do **mesmo tamanho** que o

Observe ainda que, se o objeto se aproxima do foco, objeto e está à **mesma distância** do espelho que o



seja vindo do centro de curvatura ou do vértice do espelho, objeto.

a imagem do objeto tende ao infinito. Logo, se o objeto está

- se $A < 1$, a imagem é **menor** do que o objeto e está

sobre o foco do espelho côncavo, os raios de luz, refletidos

mais próxima do espelho do que o objeto.

frente do espelho, e nem os seus prolongamentos atrás dele. Outra

expressão importante pode ser deduzida a partir da **FÍSICA** pelo espelho, são paralelos entre si e não se cruzam na

Dessa forma, **não existe** imagem formada para essa figura a seguir. Ela representa a mesma situação anterior,

posição do objeto. Alguns autores consideram que um porém a imagem foi obtida a partir de um raio de luz que

objeto sobre o foco de um espelho côncavo tem a sua passa pelo foco do espelho.

imagem formada no infinito. Nesse caso, ela é chamada Do de imagem **imprópria**.

Antes de finalizar a parte gráfica da determinação das H o imagens, vamos fazer uma constatação importante. Para f objetos reais (colocados à frente dos espelhos), toda imagem **real é invertida** e qualquer imagem **virtual é direta**. F

DETERMINAÇÃO ANALÍTICA DA D_I

Para um espelho de pequena abertura (aproximação

IMAGEM de Gauss), o arco do espelho é próximo de um segmento de reta. Nesse caso, os dois triângulos destacados são

semelhantes. Neles, temos:

Vamos, agora, deduzir relações entre as grandezas H , f (

H_I e H (alturas do objeto e da imagem), D e D_I (distâncias =

$$O I O I \quad H - D f$$

do objeto e da imagem ao vértice do espelho) e f (distância $O O$

focal do espelho). Para isso, vamos considerar a figura a $H D D f$

Como $:_I = _I \Rightarrow _I =$ seguir. Lembre-se de que o raio de luz que

incide sobre $H D D D - f_{O O O} \left(\begin{smallmatrix} O \\ O \end{smallmatrix} \right)$ o vértice do espelho é refletido, formando, com o eixo

principal, um ângulo igual ao ângulo de incidência. Uma $\Rightarrow D \cdot (D - f) = f \cdot D D \cdot D - f \cdot D_{I O O} \Rightarrow = f \cdot D_{I O I O}$ vez que os dois triângulos destacados são semelhantes,

podemos escrever: $\Rightarrow D \cdot D = f \cdot D + f \cdot D_{I O I O}$

Editora Bernoulli **51**

Frente C Módulo 03

Dividindo por $(D \cdot D \cdot f)$, temos: $_{I O}$ **02.** A distância do Sol à Terra é,

aproximadamente, 200 vezes



o diâmetro do Sol. Este é observado através de um

D D f D D . f D . f D . espelho côncavo, cuja
distância focal é 30 m. Determinar $\frac{1}{O} = \frac{1}{I} + \frac{1}{f}$
 $\Rightarrow = =$ a altura (diâmetro) da imagem obtida pelo espelho. .
. D D f . . D D f . . $\frac{1}{O}$ $\frac{1}{I}$ $\frac{1}{f}$ D D O I

Resolução:

A expressão anterior é conhecida como equação de Gauss Uma vez que o Sol está muito distante, a sua imagem

ou equação dos pontos conjugados. Para usá-la, devemos se forma praticamente sobre o foco do espelho. Assim,

considerar os sinais das grandezas envolvidas, quando forem $D \approx f = 30$ m. Conforme o enunciado, $D = 200H$. Levando $\frac{1}{O} \approx 0$

tais informações para a equação da ampliação, temos:

dados do exercício (informações fornecidas), de acordo com

o estabelecido a seguir: H D H I $3\ 000 \Rightarrow \frac{1}{cm} = = \Rightarrow H = 15\ cm$ I H O D O H O $200 \cdot H$ • Em qualquer situação $\rightarrow D > 0$ (positivo); $O \approx 0$

- Espelho côncavo $\rightarrow f > 0$ (positivo);

O resultado mostra que, mesmo para objetos muito

- Espelho convexo $\rightarrow f < 0$ (negativo); distantes, a imagem pode não ser pontual. Ela, porém,

- tem tamanho desprezível em relação ao objeto. Imagem real $\rightarrow D > 0$ (positivo); I

- Imagem virtual $\rightarrow D < 0$ (negativo). **03.** Um objeto é colocado 30 cm

à frente de um espelho

esférico. A imagem formada é virtual e sua altura é o

OBSERVAÇÃO dobro da altura do objeto. Determinar o tipo de espelho

usado e o seu raio de curvatura.

Na equação de Gauss, uma das grandezas será,

Resolução:

necessariamente, aquela a ser encontrada (incógnita). Para

essa, **não** devemos colocar sinal prévio na equação. Agindo Se $H = 2H$
 $\Rightarrow |D| = 2.30 = 60 \text{ cm}$. Como a imagem I O I

dessa forma, o sinal associado à incógnita será obtido pelo é virtual, D_I
deve ser negativo. Assim, $D_I = -60 \text{ cm}$.

Utilizando a equação de Gauss:

resultado.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D} + \frac{1}{D_I} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{30} + \frac{1}{-60} \Rightarrow f = 60 \text{ cm}$$

$$f = 60 \text{ cm}$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS $f = R/2 \Rightarrow R = 2f$
 $= 2.60 = 120 \text{ cm} \Rightarrow R = 120 \text{ cm}$

Veja, pelo resultado, que a distância focal é positiva.

01. Assim, o espelho usado é côncavo e o seu raio é Um objeto de 10 cm de altura
é colocado a 60 cm do

vértice de um espelho côncavo, de raio de curvatura igual $R = 120 \text{ cm}$.

a 80 cm. Determinar a posição, a
natureza e o tamanho **EXERCÍCIOS**
DE FIXAÇÃO da imagem fornecida pelo espelho.

Resolução: 01. (UFV-MG) Um farol de automóvel consiste em um

Como $f = R/2$, temos: $f = 80 \text{ cm}/2$ filamento luminoso colocado entre dois espelhos esféricos $\Rightarrow f = 40 \text{ cm}$ (espelho

côncavos de mesmo eixo, voltados um para o outro e de côncavo tem distância focal positiva).

tamanhos diferentes, de modo que todos os raios oriundos

Usando a equação de Gauss, temos: do filamento se refletem no espelho maior e se projetam

paralelos, conforme a figura a seguir.

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{D_1} = \frac{1}{D_2} \Rightarrow \frac{1}{40} + \frac{1}{120} = \frac{1}{D_2}$$

$$D_2 = 60 \text{ cm}$$

$$D_1 = 120 \text{ cm}$$

Observe que o resultado obtido para D_1 foi positivo. Agora,

utilizando a equação da ampliação, temos:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1}{D_2} \Rightarrow \frac{H_1}{20} = \frac{120}{60} \Rightarrow H_1 = 40 \text{ cm}$$

do espelho maior.

De acordo com os resultados anteriores, conclui-se que a B) no vértice do espelho menor e no centro de curvatura

imagem está além do centro de curvatura ($D_1 = 120 \text{ cm}$). do espelho maior.

Como D_1 é positivo, a imagem é real e invertida e, C) no foco de ambos os espelhos.

conforme o resultado da ampliação, a altura da imagem D) no centro de curvatura de ambos os espelhos.

é 20 cm. Observe que a altura da imagem é o dobro da E) no foco do espelho menor e no centro de curvatura

altura do objeto. do espelho maior.

Espelhos esféricos

02. (UFF-RJ-2010) A figura mostra um objeto e sua imagem **05.** (UFTM-MG)
Uma estudante, em sua casa, observa um

produzida por um espelho esférico. vaso de vidro transparente esférico vazio e,
nele, vê duas

imagens da mesma janela, localizada à frente do vaso.



Isso ocorre porque as superfícies do vaso funcionam como
espelhos esféricos. A externa, mais próxima da janela,
equivale a um espelho convexo; a interna, mais afastada,
equivale a um espelho côncavo. Pode-se afirmar que essas
imagens estão localizadas

- A) fora do vaso e são, ambas, direitas.
- B) fora do vaso e são, ambas, invertidas.
- C) dentro do vaso e são, ambas, direitas.

Escolha a alternativa que identifica **CORRETAMENTE** o D) dentro do vaso e são,
ambas, invertidas.

tipo do espelho que produziu a imagem e a posição do E) dentro do vaso, uma é
direita e a outra é invertida.

objeto em relação a esse espelho.

A) O espelho é convexo, e o objeto está a uma distância

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

maior que o raio do espelho.

B) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado

01. (UFMG) Em cada uma das situações a seguir, estão

entre o foco e o vértice do espelho. representados quatro raios de luz que são refletidos por

C) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado a espelhos ocultos por placas retangulares.

uma distância maior que o raio do espelho. 1 1 2 4 2

D) O espelho é côncavo, e o objeto está posicionado 3 2 1 1

3 2 1

entre o centro e o foco do espelho. 2 4 3 3 4

4

E) O espelho é convexo, e o objeto está posicionado a 3 4 I II III 2

uma distância menor que o raio do espelho. 3 1 4

As formas dos espelhos são:

03. (UFJF-MG) Na entrada de um *shopping*, é colocado um

grande espelho convexo de distância focal 40 cm. Uma **FÍSICA**

criança se assusta quando vê sua imagem refletida no

espelho. Considerando-se que, nesse momento, a criança espelhos Dois

se encontra a 1,2 m do vértice do espelho, podemos Espelho côncavo planos
Espelho convexo

afirmar que ela vê sua imagem nesse espelho

Observando a trajetória dos raios incidentes e refletidos,

A) três vezes maior. conclui-se que, em I, II e III, estão colocados,

B) duas vezes menor. respectivamente, os espelhos

A) côncavo, planos e convexo.

C) quatro vezes maior.

B) planos, côncavo e convexo.

D) quatro vezes menor.

C) convexo, côncavo e planos.

E) três vezes menor. D) convexo, planos e côncavo.

E) côncavo, convexo e planos.

04. (FCMMG) O oftalmoscópio é um aparelho destinado ao

exame do fundo do olho. O médico observa o olho
do **02.** (UFU-MG) Considere os espelhos côncavos e convexos e

paciente através de um orifício situado no centro de um os seus respectivos focos (F) e centros (C) desenhados

espelho côncavo, enquanto uma pequena lanterna ilumina nos itens a seguir. Assinale a alternativa que representa

o olho através da luz refletida no espelho, como mostra **CORRETAMENTE** o objeto real (o) e a sua imagem (i)

a figura a seguir. formada.

A) i C)

o



Médico o Paciente

F C

C F

d i

O espelho côncavo possui uma distância focal f e um raio B) D) i o de curvatura R . Para que a luz da lanterna ilumine melhor o o

olho do paciente, este deve estar a uma distância d tal que

A) $R > d > f$. C F C F C) $d < f$. i

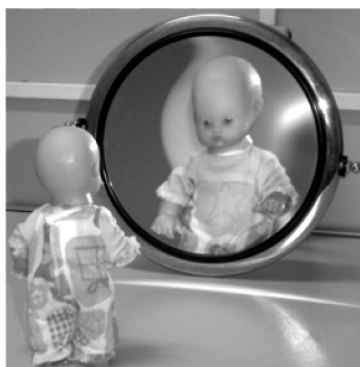
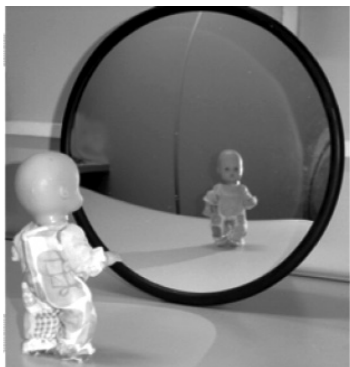
B) $d = R$. D) $d = f$.

Frente C Módulo 03

03. (UFRN–2006) Deodora, aluna da 4ª série do Ensino Fundamental, ficou confusa na feira de ciências de sua escola, ao observar a imagem de um boneco em dois espelhos esféricos. Ela notou que, com o boneco colocado a uma mesma distância do vértice dos espelhos, suas imagens produzidas por esses espelhos apresentavam O e sua imagem i e 2, reproduzidas a seguir. i r tamanhos diferentes, conforme mostrado nas figuras

1

a b c d e



Considerando os pontos a, b, c, d, e, é **CORRETO** afirmar

que o espelho é

A) côncavo e seu vértice se encontra em d.

B) côncavo e seu foco se encontra em c.

C) côncavo e seu centro se encontra em e.

D) convexo e seu vértice se encontra em c.

Figura 1 Figura 2 E) convexo e seu foco se encontra em e.

Observando-se as duas imagens, é **CORRETO** afirmar que **07.** (CEFET-MG-2008) A distância entre um espelho côncavo

A) o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é e um anteparo é de 4,0 m. Para projetar a imagem de

convexo, e o boneco está entre o foco e o vértice um objeto ampliada de 9 vezes sobre a tela, a distância

desse espelho. focal do espelho, em metros, deve ser de

B) o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é A) 0,40 m. C) 0,50 m. E) 0,60 m.

côncavo, e o boneco está entre o centro de curvatura B) 0,45 m. D) 0,55 m. e o foco desse espelho.

C) o espelho da figura 1 é convexo, o da figura 2 é **08.** (M a c k e n z i e - S P)
Um objeto real, colocado

côncavo, e o boneco está entre o foco e o vértice perpendicularmente ao eixo principal de um espelho

desse espelho. esférico, tem imagem como mostra a figura a seguir.

D) o espelho da figura 1 é côncavo, o da figura 2 é Espelho Objeto

convexo, e o boneco está entre o centro de curvatura

e o foco desse espelho.

04. Imagem (UFMG) Uma pequena lâmpada está na frente de um espelho esférico, convexo, como mostrado na figura.

Pelas características da imagem, podemos afirmar que

Espelho o espelho é

Lâmpada Lâmpada A) convexo e sua imagem é virtual.

M B) convexo e sua imagem é real. N K

L

C) côncavo e a distância do objeto ao espelho é menor

O que o raio de curvatura do espelho, mas maior que

sua distância focal.

D) côncavo e a distância do objeto ao espelho é maior

que seu raio de curvatura.

O centro de curvatura do espelho está no ponto O. Nesse E) côncavo e a distância do objeto ao espelho é menor

caso, o ponto em que, mais provavelmente, a imagem que a distância focal do espelho.

da lâmpada será formada é o

—

A) **09.** (OBF) Um quadrado está localizado sobre o eixo principal K. C) M.

■

de um espelho esférico côncavo, como ilustrado na figura

▪

B) L. D) N. a seguir. Sabe-se que o vértice inferior esquerdo do

▪

quadrado está localizado exatamente sobre o centro de

▪

05. (UFMG) Com um espelho côncavo, pode-se formar, de curvatura do espelho. Pode-se afirmar que a imagem do

▪

um objeto real, uma imagem não invertida e que seja quadrado tem forma de um

▪

A) real e maior do que o objeto.

▪

B) real e do tamanho do objeto. C F Espelho

C) real e menor do que o objeto. côncavo

D) virtual e maior do que o objeto. A) quadrado. C) retângulo. E) losango.

E) virtual e menor do que o objeto. B) triângulo. D) trapézio.

54 Coleção Estudo

Espelhos esféricos

10. (UFC-2010) A figura a seguir mostra um espelho **14.** Uma vela de $40\sqrt{2}$ cm de comprimento é colocada,

esférico côncavo de raio de curvatura R , apoiado sobre a inclinada de 45° , à frente de um espelho côncavo que

horizontal, com a face refletora voltada para cima. A reta obedece às condições de Gauss e cuja distância focal é

ao centro do espelho esférico. Determine a distância y , de curvatura e o “pé” da vela está a 20 cm de distância do eixo principal (EP), conforme a figura a seguir. acima do ponto O e ao longo da reta OP , para a qual tracejada vertical OP passa sobre o ponto correspondente igual a 60 cm. A chama da vela está acima do centro

DETERMINE o comprimento da imagem da vela.

ocorrerá maior incidência de luz solar refletida pelo

espelho, suposta de incidência vertical. Considere o

espelho esférico com pequeno ângulo de abertura, de 40 cm

modo que os raios incidentes são paralelos e próximos ao 40 cm EP

seu eixo principal. Assinale a alternativa que apresenta F e C

CORRETAMENTE essa distância.

P

Face refletora 15. Um objeto luminoso (O) tem sua imagem (I) formada por

um espelho côncavo ideal de eixo principal (EP), conforme

a figura adiante. Considere que os quadriculados tenham

O lados iguais e que o espelho possa ser desenhado como Horizontal se fosse plano na região na qual recebe luz. **DETERMINE**

A) $R/2$ C) R E) $2R$ graficamente, na figura a seguir, as posições do espelho

B) e do seu foco. **JUSTIFIQUE** sua resposta. $3R/4$ D) $3R/2$

O

11. (UFMG / Adaptado) Um objeto luminoso (O) está colocado

a 10 cm de distância de um espelho côncavo, cuja

distância focal é igual a 20 cm. Uma folha de papel, com EP
dois pequenos furos, é colocada sobre o foco do espelho, I
perpendicularmente ao seu eixo. Os raios luminosos,
refletidos pelo espelho, saem pelos furos da folha de
papel de acordo com a alternativa: **FÍSICA**

A) C) **SEÇÃO ENEM**

O O 01. A energia solar, cada vez mais, vem sendo utilizada para
substituir a energia obtida pela queima de combustíveis
fósseis. Uma de suas aplicações está no uso de concentradores

B) solares, dispositivos utilizados para o aquecimento de água

D) e de óleo que posteriormente podem ser aproveitados para
diversas finalidades. Um concentrador solar típico capta a
energia solar que incide em um espelho cilíndrico côncavo e a
O concentra sobre um cano, no qual há água ou óleo. Considere

O

que tal espelho seja esférico. A fotografia e o esquema de
funcionamento do dispositivo estão mostrados a seguir.

12. (FCMMG) Um automóvel tem três espelhos: um Observe que a energia solar
que atinge o concentrador é

plano, usado no retrovisor interno; um convexo, refletida pelo espelho e se dirige
para o cano absorvedor,

usado no retrovisor externo; um côncavo, usado para por onde passam a água ou
o óleo a serem aquecidos.

ampliar imagens do rosto do passageiro dianteiro.

A imagem formada por cada um desses três espelhos é,



respectivamente,

A) real, virtual e real. C) virtual, virtual e real. Absorvedor

B) virtual, real e real. D) virtual, virtual e virtual.

Refletor

13. (Mackenzie-SP) A imagem de um objeto que está a 40 cm

de um espelho esférico côncavo tem a mesma altura do Água quente

objeto. Colocando o objeto à grande distância do espelho, Água fria

a sua imagem estará a

A) 60 cm do espelho. Preocupada com o aquecimento global, a diretoria de um D) 30 cm do espelho. grande clube esportivo decidiu instalar concentradores B) 50 cm do espelho. E) 20 cm do espelho. solares para aquecer a água de suas piscinas. Os projetos

C) 40 cm do espelho. apresentados ofereciam duas alternativas:

Editora Bernoulli **55**

Frente C Módulo 03

1. espelhos concentradores com vários painéis, de radiação (D). A figura a seguir mostra os raios que

totalizando 50 m de comprimento, possuindo distância incidem num telescópio com tais características. Este é

focal de 2,0 m e canos transportadores de água com o princípio básico de funcionamento do Hubble, o mais

1,0 cm de diâmetro; famoso dos telescópios atuais.

2. espelhos concentradores com vários painéis, E1 totalizando 50 m de comprimento, possuindo distância

focal de 4,0 m e canos transportadores de água com

1,0 cm de diâmetro; E2

o diâmetro do Sol, que a vazão de água pelos canos seja D estrelas P Considere que a distância do Sol à Terra seja 200 vezes Radiação das V

sempre constante e que os concentradores têm eficiência

de 100%. Nas duas propostas apresentadas, há um

dispositivo para girar o concentrador, de modo que a

energia solar sempre chegue aos espelhos na direção do

eixo principal, e os concentradores têm a mesma seção Como o astro observado está muito distante, a radiação

reta retangular, isto é, eles recebem a mesma quantidade emitida por ele chega ao telescópio paralelamente ao

de energia solar a cada instante. eixo comum dos espelhos. Observe que a luz refletida

Com o objetivo de conseguir o melhor aproveitamento da pelo espelho E1 se dirige para o ponto P do espelho E2.

energia solar, de modo que a água seja aquecida o mais Considere que V e f sejam, respectivamente, o vértice e

rapidamente possível, a diretoria do clube deve optar a distância focal do espelho secundário (E). Dessa forma, 2

a imagem formada nos detectores de radiação (D) será

A) pela alternativa 1 e exigir que o cano absorvedor fique

a 1,0 m da linha central do concentrador. A) real, e, para que isso aconteça, VP deve ser menor

B) pela alternativa 1 e exigir que o cano absorvedor fique que f .

a 2,0 m da linha central do concentrador. B) real, e, para que isso aconteça, VP deve ser maior

que f .

C) pela alternativa 2 e exigir que o cano absorvedor fique

a 1,0 m da linha central do concentrador. C) virtual, e, para que isso aconteça, VP deve ser maior

que f.

D) pela alternativa 2 e exigir que o cano absorvedor fique

a 2,0 m da linha central do concentrador. D) virtual, e, para que isso aconteça, VP deve ser menor

que f.

E) por qualquer das alternativas, desde que o cano

absorvedor fique a 1,0 m e a 2,0 m da linha central E) real, se VP for maior que f e virtual, se VP for menor

do concentrador, respectivamente, nas propostas que f. 1 e 2.

02. De acordo com a óptica geométrica, quando uma imagem

GABARITO

é formada pelo encontro de raios refletidos, ela é real.

**Caso seja formada por
cruzamento de prolongamentos
Fixação** de raios refletidos, ela será virtual. As figuras a seguir

mostram dois raios de luz que incidem em um espelho, 01. A 02. D 03. D 04. D 05. E

**de pequena abertura, convexo e
de vértice V, centro Propostos** de
curvatura C e foco F. Como a normal N, no ponto de

incidência, deve passar pelo centro C, os raios incidentes

e refletidos obedecem à 2ª Lei da Reflexão (ângulos de 01. D 04. B 07. A 10. A 13. E

incidência e reflexão congruentes).

02. A 05. D 08. D 11. A 14. 120 cm

N N

03. C 06. D 09. D 12. D

R R R 15.

V F C V F C O

R R E R

R

N N F E P

O primeiro telescópio refletor – que usava espelhos I em vez de lentes – foi inventado, em 1668, por Isaac Newton. Os grandes telescópios modernos possuem um grande espelho côncavo (E) capaz de captar a 1

luz e os raios infravermelhos e ultravioletas emitidos Seção Enem

por estrelas distantes. Esse espelho, que possui uma

pequena abertura na parte central, reflete a radiação

para outro espelho convexo (E 01. B 02. A), menor, que finalmente 2

vai produzir a imagem que será gravada nos detectores

56 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE Refração da luz 04 C

A velocidade com que a luz de uma dada cor se propaga. Observe, ainda, que uma parcela da luz passa do ar para o

em um meio transparente é, na maioria das vezes, específica do vidro, ou seja, sofre refração. Dentro do vidro, a velocidade

de cada meio. A refração é o fenômeno pelo qual a luz, ao de propagação da luz (v) é diferente da sua velocidade no vidro ao passar de um meio de propagação para outro, diferente do de propagação no ar. primeiro, altera, necessariamente, o módulo de sua velocidade

A velocidade da luz no vácuo (c) é constante, e possui o de propagação. Podemos enxergar um objeto através de

uma substância transparente, como uma lente, uma placa de vidro, sendo igual a, aproximadamente, $c = 3,0 \times 10^8$ m/s, maior valor em relação a qualquer outro meio de propagação, m/s.

vidro ou uma porção de água, em decorrência da refração.

Dessa forma, quando a luz adentra em uma substância. Esse fenômeno é responsável pelo funcionamento das lentes,

qualquer, vinda do vácuo, a sua velocidade será reduzida. de alguns aparelhos de observação e de projeção e, também,

A grandeza que caracteriza a influência de um dado meio pelo funcionamento dos instrumentos que usam a fibra óptica,

na velocidade de propagação da luz, de certa frequência, para citar apenas alguns exemplos. O fenômeno de refração

é o **índice de refração absoluto (n)** da substância. Esse pode, também, explicar a formação e as cores de um arco-íris.

índice é definido como a razão entre as velocidades da luz no

Já vimos que cada radiação luminosa (cor de luz) é no vácuo (c) e na substância (v), ou seja:



caracterizada por uma frequência (f), e sabemos que um

objeto vermelho, por exemplo, mantém a sua cor dentro de $c_n = v$ qualquer substância transparente. Assim, podemos inferir

que a frequência da luz não é alterada quando esta sofre Conforme a definição, o índice de refração absoluto do vácuo

refração. Uma grandeza importante de cada onda luminosa é $n = 1$. A tabela a seguir mostra os valores aproximados da

é o comprimento de onda (λ). Para o estudo deste módulo, velocidade da luz e dos índices de refração absolutos de alguns

devemos saber, inicialmente, que o comprimento de onda meios (para a luz amarela do sódio). Os valores podem variar

(λ) da luz, dentro de uma dada substância, é inversamente com as impurezas e com as misturas contidas no material e,

proporcional à sua frequência (f). para os fluidos, também com a temperatura.

Vamos considerar, por ora, que a luz é constituída de

uma só radiação (única cor), ou seja, ela é monocromática. **Meio**
Velocidade da luz Índice de refração

(v) absoluto (n)

Alguns fenômenos só ocorrem com a presença de luz $v_{Ar} \approx 3,0 \times 10^8$ m/s
 $\approx 1,0$

policromática (formada por radiações de várias cores) e, $v_{\text{Água}} 2,250 \times 10^8$ m/s 1,333 quando for o caso, isso será especificado.

Vidro $\approx 1,980 \times 10^8$ m/s 1,515

A figura a seguir mostra a luz amarela de uma lanterna Diamante $1,241 \times 10^8$ m/s 2,417

que incide em uma placa de vidro. Veja que parte da luz s Rutilo $1,073 \times 10 \text{ m/s}$ $2,795$ sofre reflexão (continua se propagando no ar) após atingir a superfície do vidro. Os feixes incidente e refletido apresentam Três conclusões importantes devem ser tiradas da

a mesma velocidade de propagação (v definição e tabela anteriores.).
Ar

1. A velocidade da luz em qualquer meio (v) é **inversamente** proporcional ao índice de refração (n) desse meio, uma vez que a velocidade da luz no vácuo é constante.

v 2. O ar pode ser considerado como apresentando o **menor** Ar

Ar v índice de refração entre todas as substâncias. O seu Ar valor ($n_{\text{Ar}} \approx 1,0$) é importante e deve ser conhecido.

Vidro 3. O índice de refração (n) é um número adimensional (sem unidade de medição acompanhando seu v_{Vidro} valor numérico), uma vez que é a razão entre duas velocidades.

Editora Bernoulli 57

Frente C Módulo 04

quanto a velocidade de propagação da luz é reduzida, em $n_1 = n_2$ ou $n_1 \neq n_2$ } θ O índice de refração absoluto (n) de um meio indica o $\sin \theta$ v n
 $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$ | θ

relação a seu valor no vácuo, quando a luz se propaga nesse $\sin \theta$ v n_2

21 $v_{\text{sen}} = v_{\text{sen}} \cdot \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ meio. Considere uma substância de índice de refração $n = 3$.

Isso quer dizer que a velocidade da luz nessa substância é Analisando as equações anteriores, verificamos que o seno

três vezes menor que no vácuo. Ou seja, a velocidade será do ângulo formado pelo raio de luz com a reta normal, em

$$v = 1,0 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

um dado meio, é proporcional à velocidade de propagação

É comum usar o termo “meio muito refringente” para da luz nesse meio e inversamente proporcional ao índice de

expressar que o índice de refração de um meio apresenta

refração do respectivo meio. O seno de um ângulo agudo é

um valor elevado. Para se referir a um meio cujo índice

de refração seja pequeno, é usado o termo “meio pouco tanto maior quanto maior for o ângulo em questão. Assim,

refringente”. Assim, o rutilo é o meio mais refringente entre podemos dizer que quanto maior o ângulo formado com a

aqueles listados na tabela anterior. normal, maior a velocidade de propagação da luz e menor o

As leis da refração

índice de refração absoluto daquele meio. Na figura anterior,

temos:

Quando um feixe de luz incide em uma substância, ele $v < v_{\theta}$

sofre, na maioria das vezes, refração, reflexão e absorção. $n_2 < n_1 \Rightarrow n > n_1$ Neste módulo, vamos considerar apenas a refração da luz,

quando esta incide sobre a superfície de separação de dois A luz, ao sofrer refração, pode se **aproximar** ou se

meios. Se a reflexão ou a absorção forem importantes para **afastar** da

normal, dependendo dos meios envolvidos.

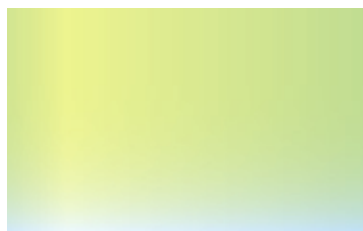
a situação em questão, isso será especificado. A figura a seguir mostra um raio de luz que passa do **ar** (meio 1) para o

vidro (meio 2). Observe, nesse caso, que os raios incidente

e refratado têm direções diferentes. $n_1 \neq n_2$ $v_1 \neq v_2$ $\theta_1 \neq \theta_2$

Meio 1 n_1 Meio 2 n_2

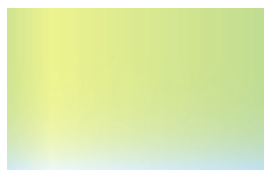
Ar (1) v_1 θ_1 θ_2 v_2 n_1 n_2



Vidro n_2 Meio 2 mais refringente Meio 1 menos refringente (2) $(n > n)$
 $(n < n)$ $\theta_2 < \theta_1$ $v_2 < v_1$ $\theta_1 > \theta_2$ A luz se aproxima da normal A luz se afasta da normal



n_1 n_2



Na figura, temos, respectivamente: Um caso especial de refração ocorre quando $\theta = 0^\circ$ (a luz

incide perpendicularmente à superfície). Assim, a incidência

• Ar (1) e vidro (2) – meios 1 e 2; ocorre sobre a normal, e a **luz se**

refrata sem sofrer desvio.

- Em outras palavras, a luz transmitida muda de meio, altera R e R – raios incidente e refratado; i R o módulo de sua velocidade de propagação, porém não sofre

- v e v – velocidade da luz nos meios 1 e 2; i 2 o desvio mostrado na figura anterior. Vamos ilustrar essa

- θ e – ângulos de incidência e de refração (em situação através da figura a seguir. Ela mostra um raio de i θ 2

relação à normal); luz atravessando uma placa de vidro imersa no ar. O raio, ao

- entrar na placa de vidro ou ao sair dela, sofre refrações sem N – reta normal (perpendicular à superfície no ponto

de incidência da luz). desvio, pois incidiu sempre perpendicularmente às superfícies

de separação dos meios. Veja, também, o gráfico da velocidade

As leis que regem a refração são:

da luz em função da posição desta ao longo do trajeto.

1ª: O raio incidente, o raio refratado e a reta normal são

coplanares. v ($\times 10^8$ m/s)

2ª: (Lei de Snell): Os ângulos formados pelos raios Ar Vidro Ar 3

incidente e refratado com a reta normal (θ e 2 i θ), 2 os índices de refração (n e n) e os módulos das i 2

velocidades de propagação (v e v) nos meios 1 e 2, i 2

respectivamente, se relacionam pelas equações: $\times \times 0$ 12×0 $\times 1$ $\times 2 \times$

REFLEXÃO TOTAL

Podemos determinar o seno do ângulo limite θ (e, assim, θ_L o ângulo limite) entre um meio mais refringente (índice de

Um fenômeno óptico muito útil é chamado **reflexão** refração n_2 , maior) e outro menos refringente (índice de n_1

total. Para entendê-lo, consideremos um recipiente largo refração n_2 , menor) utilizando a Lei de Snell: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

contendo água. Uma pequena lâmpada L, que irradia luz $n_2 \sin \theta = n_1 \sin \theta \Rightarrow n_2 \sin \theta = n_1 \sin 90^\circ$ $n_1 \sin \theta = n_2$ monocromática, está afixada no canto inferior do recipiente,

conforme mostrado na figura a seguir. As linhas pontilhadas $n_2 \sin \theta = n_1 \sin \theta \Rightarrow n_2 \sin \theta = n_1 \sin 90^\circ$ $n_1 \sin \theta = n_2$ representam as normais (N) nos pontos A, B, C e D. A figura $n_1 \sin \theta = n_2$

mostra raios de luz em cores distintas para indicar ângulos Em termo das velocidades de propagação, a equação

de incidência diferentes. Observe que o raio LA (vermelho), anterior pode ser escrita como:

o ar, sofre os fenômenos de reflexão e de refração. O raio $v_2 \sin \theta = v_1 \sin 90^\circ$ $v_1 \sin \theta = v_2$ ao incidir sobre a superfície de separação entre a água e refratado afasta-se da normal, pois o índice de refração $n_2 \sin \theta = n_1 \sin 90^\circ$ $n_1 \sin \theta = n_2$

do ar é menor que o da água. O mesmo fato ocorre com

o raio incidente LB (marrom). Nesse caso, porém, o raio

APLICAÇÕES DA REFRAÇÃO E

refratado afasta-se da normal de forma mais acentuada do

que o raio **LA**. Isso ocorre porque, de acordo com a Lei de **DA**
REFLEXÃO TOTAL Snell, quanto maior for o ângulo
de incidência, maior será
o ângulo de refração.

Formação de imagem por refração

Ar A B C D próximo ao fundo. Se olhar o aquário por cima, próximo
à Imagine um aquário com água cristalina e um peixe

Água

θ vertical em que se encontra o objeto (peixe), você
não o **FÍSICA**

θ verá. No entanto, será vista uma imagem virtual do objeto,

θ **acima** de sua posição real (mais **perto** do
observador), i

conforme mostrado a seguir.

L

Existe um raio **LC** (azul), cujo ângulo de incidência θ_L ,
chamado de **ângulo limite**, é o maior ângulo para o qual



ainda ocorre o fenômeno de refração. Observe a figura com



atenção e veja que o raio refratado em C se propaga no ar,



porém, rasante à superfície da água. Assim, o ângulo de Imagem
refração é 90° .

Qualquer raio que incida da água para o ar com um

Peixe

ângulo de incidência (θ) maior que será totalmente θ_L
refletido pela interface água-ar, como aconteceu com o

Veja que os dois raios de luz que partem do peixe afastam-se
raio **LD** (alaranjado). Por isso, dizemos que esse raio sofreu

da normal (não mostrada na figura) ao passar da água para o ar.
reflexão total. É importante que você perceba a condição

Prolongando os raios refratados, encontramos a posição
de existência do ângulo limite e, portanto, da reflexão total.

na qual nosso sistema óptico formará a imagem do peixe
Para tal, é necessário que a luz esteja se propagando numa

(figura fora de
escala).

substância de índice de refração **maior**, no qual a velocidade

da luz é **menor** (mais refringente), e se dirija a outro meio Agora,
imagine que você está mergulhado na água de uma

de índice de refração menor, onde a velocidade da luz é piscina. Se
olhar uma lâmpada, por exemplo, fora dela, você

maior (menos refringente). Para ocorrer a reflexão total, não verá a
lâmpada, mas uma imagem virtual dela **acima**

é necessário, além disso, que o ângulo de incidência (θ) de sua
posição real (mais **longe** do observador), conforme i

seja maior que o ângulo limite (θ). mostrado a seguir (figura fora de
escala). 1

Editora Bernoulli 59

Frente C Módulo 04

A fotografia a seguir mostra a imagem dos pneus de um

Imagem Image caminhão formada pela reflexão total que ocorre no ar

aquecido próximo
ao asfalto.

Lâmpada Lâmp

XC

S

Outra aplicação da reflexão total é o prisma de reflexão.

A figura a seguir representa um prisma de vidro de base
triangular, apresentando dois ângulos internos iguais a 45° .

Os índices de refração do vidro e do ar são iguais a 1,5 e
1,0, respectivamente. Assim, o seno do ângulo limite, entre

Observador o ar e o vidro, é $\sin \theta = 1,0/1,5 = 0,667$.
Consultando a tabela trigonométrica,
encontraremos um ângulo limite

Os raios de luz emitidos pela lâmpada, em direção ao $\theta_L \approx 42^\circ$. Por isso, todo raio que incide perpendicularmente



às laterais do prisma, conforme representado na figura, sofre



observador, que está dentro da água, aproximam-se da



normal (não mostrada na figura) ao entrarem na água. reflexão total ao atingir a face **AB**. Note que a luz que chega ao observador é divergente e que a



imagem é formada no ponto em que os prolongamentos dos



raios refratados se encontraram. Fenômeno análogo ocorre 45° B quando percebemos a imagem de uma estrela vista aqui da



Terra (chamada de “posição aparente” da estrela). Devido

posição real da estrela. Δ

Um diamante lapidado se comporta como um prisma de

APLICAÇÕES DA REFLEXÃO

TOTAL reflexão total. Ele apresenta um brilho característico devido

às várias reflexões totais da luz que ocorrem em seu interior.



Veja a seguir.



Agora, vamos entender o fenômeno da miragem, fenômeno



de formação de imagens pelo ar quente sobre o asfalto ou sobre



outra superfície aquecida. Na situação da figura a seguir, a



película de ar em contato com o asfalto está a uma maior



temperatura que o ar acima dela. Sabe-se que a velocidade da



luz no ar é maior para temperaturas mais elevadas. Para que



o fenômeno da reflexão total possa ocorrer, a luz deve se



propagar de uma região de menor velocidade para outra de wikipedia.org maior velocidade. Portanto, a luz que vem em direção ao solo O prisma de reflexão total é muito utilizado em dispositivos



pode sofrer reflexão total ao se aproximar do chão e, assim, ópticos como binóculos e periscópios. Isso se deve ao fato



pode atingir os olhos do observador. A figura seguinte mostra a de a face **AB** do prisma se comportar como um espelho



luz sofrendo reflexão total sobre uma película de ar em contato plano, refletindo totalmente grande parte da luz. As figuras



com uma pista quente. Nessa situação, o observador terá a a seguir mostram, de forma esquemática, o trajeto da luz



impressão de que existe uma poça de água sobre a estrada. através de um binóculo e de um periscópio de submarino,



Céu bem como a reflexão total nos respectivos prismas.



Luz to da talmente refleti



Ar quente



Imagem



Binóculo





Refração da luz

Observe, atentamente, que todas as radiações se aproximam da normal. Veja, ainda, que o ângulo formado



pelo raio refratado, com a normal, é menor para a luz

violeta do que para as demais cores. Todas as radiações que constituem a luz branca apresentam a mesma velocidade (c)



no vácuo e no ar. Em substâncias dispersivas, como os



sólidos e os líquidos, de forma geral, o índice de refração (n)



do meio de propagação varia com a frequência (f) e,



portanto, com a cor da radiação. Logo, a velocidade da luz, em um meio dispersivo, também varia com a cor da radiação.

Periscópio Por esse motivo, existe uma decomposição da luz branca nas cores que formam o espectro da luz visível. O gráfico a

luz, a imagem formada por esses dispositivos não apresenta em função da frequência (f) da luz. Observe que o índice de refração lateral, já que o segundo prisma compensa a refração aumenta da cor vermelha para a violeta. Uma vez que são usados dois prismas em cada trajeto de seguir mostra como varia o índice de refração (n) do vidro

inversão do primeiro.

Uma terceira aplicação da reflexão total é a fibra óptica, (1,535) uma espécie de “mangueira” condutora de luz. A fibra óptica (1,530) é constituída de um núcleo de material transparente que (1,525) apresenta um índice de refração muito elevado em relação ao (1,520) ao do material que o reveste. Por isso, o ângulo limite entre (1,515) o

núcleo da fibra óptica e o material do revestimento é muito 1,510
pequeno. Um raio de luz que penetra em um dos lados de

outro lado com poucas perdas, como está representado na Índice de refr
1,500 elho o a Verde uma fibra óptica sofre múltiplas reflexões totais, saindo
do 1,505 figura a seguir. Verm Azul Alar anjado Amarel Violet

Frequência (f)

Conforme sabemos, o ângulo (θ), formado pelo raio de luz N

com a normal, e a velocidade da luz (v), em um dado meio,

FÍSICA

são tanto **menores** quanto **maior** for o índice de refração (n)

Atualmente, as fibras ópticas são utilizadas como cabos desse meio.
Isso nos permite concluir que:

outros) e como fios transportadores de luz para iluminar o $\theta < \dots <$
 $\theta_{\text{verm.}}$ n para transmissão de dados (telefonia, televisão, Internet e
interior do corpo humano em intervenções médicas, como $\text{viol.} > \dots >$
 $n \Rightarrow \text{viol. verm. } v < \dots < v_{\text{viol.verm.}}$ a endoscopia, entre outras aplicações.

A separação da luz branca nas suas cores componentes é

DISPERSÃO DA LUZ BRANCA

chamada
de **dispersão** ou **decomposição** da luz branca.

Um fato interessante, descoberto por Newton em 1672,

é que da mesma forma que um prisma, por exemplo, pode

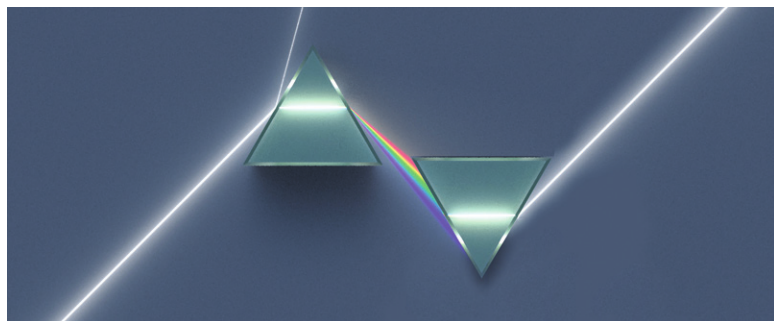
Considere um feixe de luz branca (cuja direção, dentro do

dispersar a luz nas suas cores componentes, ele pode

incide sobre um hemisfério de vidro, como representado recombina-

las para obter o branco novamente. Veja a vidro, está representada pela linha pontilhada oblíqua) que

na figura a seguir. Observe que a luz branca se refrata, fotografia a seguir. na interface ar-vidro, dando origem a um feixe colorido



constituído por uma infinidade de luzes de cores distintas.

Esse feixe apresenta sete cores básicas, na seguinte ordem de aproximação em relação à reta normal: vermelha (aquela que menos se aproxima da normal), alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta (aquela que mais se aproxima da normal).

N

SPIGGET / Creative Commons

Luz

branca A formação do arco-íris envolve a combinação de vários fenômenos ópticos já estudados. Observe que um arco-íris somente é visível quando o Sol está às nossas costas.

Portanto, os raios de luz do Sol que atingem nossos olhos estão sendo refletidos por gotas de água dispersas na atmosfera.

$\theta_{\text{viol.}}$ Veja, a seguir, a trajetória da luz branca (luz policromática Vermelha emitida pelo Sol) e das radiações coloridas dispersas em uma

N Violeta gota de água. Nesta figura, com o objetivo de simplificar,

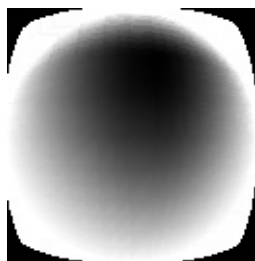
$\theta_{\text{verm.}}$ foram desenhadas apenas as cores vermelha e violeta.

Frente C Módulo 04

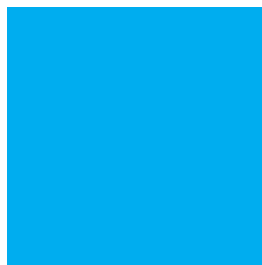
As demais cores se distribuem entre as duas citadas. A luz **Resolução:** branca, ao incidir sobre a gota, sofre uma refração e,

a luz sofre uma reflexão total e, posteriormente, ao sair a luz sofre uma refração e, consequentemente, se dispersa. No lado direito da gota, para o ar, a luz sofre uma segunda refração. Fundo aparente

Fundo real



Luz solar N



Sabemos que a imagem de um objeto mergulhado

Gota de na água parece mais próxima da superfície do que

água

realmente está. Assim, a imagem do fundo da piscina

(fundo aparente) está mais perto de Alice do que o

Violeta

fundo real, conforme mostrado na figura. A relação entre

as profundidades aparente (h_r) e real (h_v) é dada pela $n_A n_R$

Vermelho relação entre o menor e o maior índice de refração dos

meios, ou seja:

O ângulo entre a luz refletida pela gota e a linha horizontal

de visada deve ser sempre o mesmo para uma determinada h_r e h_v .
 $n_A = \text{Menor}$, $\Rightarrow n_A = n_R \Rightarrow n_A \sin \theta_A = n_R \sin \theta_R \Rightarrow \sin \theta_A = \sin \theta_R$, m cor. Veja a figura a seguir. Se
você girar o triângulo destacado h_r e h_v 40°, 43° / $n_{\text{Ar}} > n_{\text{Água}}$ em torno da
linha horizontal de visada, o seu vértice superior descreve um arco de
círculo, conforme mostrado.

As gotas que ocupam esse arco, e apenas elas, refletem a **02**. Um raio
de luz monocromática incide numa “gota” de luz vermelha, por exemplo, para
os olhos do observador. Por vidro, de centro C, conforme mostrado na figura a
seguir.

esse motivo, o arco-íris tem a forma de um arco.

Raio

Raio de luz solar

C

Observador



Linha horizontal de visada Determinar as trajetórias dos raios de luz que emergem

da gota após

A) duas
refrações.

Sombra B) uma refração, uma reflexão interna e outra refração.

Veja a seguir a fotografia de um arco-íris. **Resolução:**

A normal, em qualquer ponto da superfície da gota, deve,



necessariamente, passar pelo centro C dessa gota. Se a

luz vai do ar para o vidro ($n > n$), ela deve se aproximar da normal e, quando sai do vidro para o ar, deve se afastar

da normal. Assim, temos:

A)

N
N
C

SXC

B)

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS _{NN}

C

01. Alice, após a aula de refração, foi ao clube e, estando ao

lado da piscina, olha verticalmente para o fundo dela.

Alice percebe que o fundo parece estar mais perto dela N

do que encontra-se na realidade. A piscina tem 4,0 m de

profundidade e está cheia de água. O índice de refração **Observação:** As figuras foram desenhadas separadas

da água é $n_A = 4/3$. Determinar a profundidade aparente com o objetivo de tornar clara a solução. Na realidade,

da piscina. os dois raios emergentes podem existir simultaneamente.

62 Coleção Estudo

Refração da luz

03. Um raio de luz monocromática, vindo do ar, incide numa **02.** (UFMG–2006) Rafael e Joana observam que, após

placa de vidro ($n_v = 1,5$), sofrendo reflexão e refração. atravessar um aquário cheio de água, um feixe de luz do

Determinar o ângulo de incidência (θ) para que os raios Sol se decompõe em várias cores, que são vistas num

refletido e refratado formem um ângulo de 90° .

anteparo que intercepta o feixe. Tentando explicar esse

Resolução: fenômeno, cada um deles faz uma afirmativa:

Rafael: Isso acontece porque, ao atravessar o aquário,

a frequência da luz é alterada.

$\theta \theta$

Interface Joana: Isso acontece porque, na água, a velocidade da

Ar-ar-vidro $90^\circ - \theta$ luz depende da frequência.

Vidro $90^\circ - \alpha$ Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar

α

A) ambas as afirmativas estão certas.

N B) apenas a afirmativa de Rafael está certa.

C) ambas as afirmativas estão erradas.

Observe a figura anterior. Lembre-se de que D) apenas a afirmativa de Joana está certa.

- a normal (N) forma 90° com a interface ar-vidro;

• **03.** (CEFET-MG–2009) Sobre o comportamento da luz em o ângulo de reflexão (θ) é igual ao de incidência (θ);

diferentes meios, é **CORRETO** afirmar que

- os ângulos entre os raios refletido e refratado com a interface ar-vidro são complementares de θ e α , A) as estrelas cintilam porque a luz proveniente delas

respectivamente; sofre sucessivas reflexões na atmosfera.

- de acordo com a trigonometria, o seno de um ângulo

B) um raio de luz, ao penetrar na água, tem sua

é igual ao cosseno do seu complemento.

velocidade de propagação e frequência alteradas.

Assim, a partir da figura e da Lei de Snell, temos: **FÍSICA**

C) um objeto dentro de uma piscina parece estar em uma

$$\bullet 90^\circ = (90^\circ - \theta) + (90^\circ - \alpha) \Rightarrow \alpha = 90^\circ - \theta$$

posição diferente da real, se observado de fora.

(α e θ são complementares) $\Rightarrow \sin \alpha = \cos \theta$;

$$\bullet \text{D) a duração do dia terrestre é ligeiramente prolongada } n_{Ar} \cdot \sin \theta = n_v \cdot \sin \alpha \\ \Rightarrow 1,0 \cdot \sin \theta = 1,5 \cdot \cos \theta$$

devido à reflexão da luz solar na atmosfera.

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \theta = 1,5.$$

E) uma estrada asfaltada, em um dia quente, aparenta

Consultando a tabela trigonométrica, temos que

θ estar molhada, por causa da refração da luz solar no $= 56,3^\circ$.

asfalto.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 04. (UFMG) A

figura que **MELHOR** representa um raio de

luz monocromática atravessando um prisma de vidro

no ar é

01. (UNIFESP-SP) Um raio de luz monocromática provém A) D) N N N N de um meio mais refringente e incide na superfície de

separação com outro meio menos refringente. Sendo Raio Raio

ambos os meios transparentes, pode-se afirmar que esse

raio,

A) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre

refração, mas pode não sofrer reflexão. B) N E)

B) dependendo do ângulo de incidência, sempre sofre N N

Raio N

reflexão, mas pode não sofrer refração. Raio

C) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode

sofrer refração, nunca reflexão.

D) qualquer que seja o ângulo de incidência, só pode

sofrer reflexão, nunca refração. C) N N

E) qualquer que seja o ângulo de incidência, sempre

sofre refração e reflexão. Raio

Frente C Módulo 04

05. (UFMG–2010) Um arco-íris forma-se devido à dispersão da **02.** (UFSCar-SP / Adaptado) Um canhão de luz foi montado no

luz do Sol em gotas de água na atmosfera. Após incidir sobre fundo de um lago artificial. Quando o lago se encontra

gotas de água na atmosfera, raios de luz são refratados; vazios, o feixe produzido corresponde ao representado na

em seguida, eles são totalmente refletidos e novamente

figura.

refratados. Sabe-se que o índice de refração da água para

a luz azul é maior que para a luz vermelha. Considerando

essas informações, assinale a alternativa em que estão

MELHOR representados os fenômenos que ocorrem em

uma gota de água e dão origem a um arco-íris.

A) Luz branca

Quando cheio de água, uma vez que o índice de refração

Luz azul

da água é maior que o do ar, o esquema que **MELHOR**

Luz vermelha

representa o caminho a ser seguido pelo feixe de luz é

A)

B) Luz branca



Luz vermelha B)



Luz azul

C)

C) Luz branca

Luz

azul

Luz vermelha D)

D) Luz branca E) Luz vermelha



Luz azul



03. (UFMG) A figura mostra a trajetória de um feixe de



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

meio I, atravessa um meio II,



é totalmente refletido na interface dos meios II e III e



retorna ao meio
I.



01. (UFSM-RS–2006) Um raio de luz monocromática passa I II III



de um meio 1 para um meio 2 e deste para um meio 3,



conforme indicado na figura.



Meio



1



Meio



2



Meio 3 Sabe-se que o índice de refração do ar é menor que o da

água e que o da água é menor que o do vidro.



Nesse caso, é **CORRETO** afirmar que os meios I, II e III

Com relação à velocidade de propagação da luz nesses

podem ser, respectivamente,

três meios, assinale a alternativa **CORRETA**.

A) ar, água e vidro.

A) $v > v > v$ D) $v > v > v$ 1 2 3 1 3 2 B) vidro, água e ar.

B) $v > v > v$ E) $v > v > v$ 3 1 2 3 1 2 1 C) água, ar e vidro.



C) $v > v > v$ D) ar, vidro e água. 2 3 1

64 Coleção Estudo



-
-
-
-



-
-
-
-



Refração da luz

04. (CEFET-MG–2010) Analise as afirmativas a seguir sobre **07.** (UNIFESP-SP) O gráfico mostra a relação entre os

o fenômeno da refração da luz entre dois meios de ângulos de incidência e de refração entre dois materiais

propagação. transparentes e homogêneos, quando um raio de luz

I. No meio menos refringente, a velocidade de um raio incide sobre a superfície de separação entre esses meios,

de luz é maior do que no vácuo.

qualquer que seja o sentido do percurso.

II. Independentemente dos meios de propagação,

o desvio do raio luminoso pode não ocorrer. 90

III. O desvio do raio de luz ocorre somente quando 80 A 70 ele passa do meio mais refringente para o menos

refringente. 60

50

IV. Em um meio menos refringente, o raio luminoso

40

refratado, para uma incidência oblíqua, afasta-se da

30

normal. Ângulo no meio 20

São **CORRETAS** apenas as afirmativas 10

A) I e II. 0 D) II e IV.

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

B) I e III. E) III e IV.

C) II e III. Ângulo no meio B

05. (Cesgranrio) Um semicírculo é feito de um material e o núcleo de fibras ópticas, deveria compor o núcleo da Se esses materiais fossem utilizados para produzir a casca

transparente. Um raio luminoso monocromático,

fibra o meio

propagando-se no ar (cujo índice de refração supõe-se

igual a 1,0), incide na superfície curva desse cilindro, A) A, por ser o mais refringente.

paralelamente ao seu diâmetro, refratando-se com um

ângulo de refração B) B, por ser o menos refringente. α , conforme indica a figura a seguir.

C) A, por permitir ângulos de incidência maiores.

D) B, porque nele a luz sofre maior desvio. **FÍSICA**

n

α E) A ou B, indiferentemente, porque nas fibras ópticas não ocorre refração.

Portanto, o índice de refração do material do semicilindro **08.** (FUVEST-SP)
Certa máquina fotográfica é fixada a uma

vale distância H da superfície de uma mesa, montada de tal

forma a fotografar, com nitidez, um desenho em uma folha

A) $2\sin \alpha$. D) $1 + \cos \alpha$.

de papel que está sobre a mesa. Desejando manter a folha

B) $2\cos \alpha$. E) $\operatorname{tg} \alpha$.

esticada, uma placa de vidro, com 5 cm de espessura,

C) $1 - \sin \alpha$. é colocada sobre a folha. Na nova situação, pode-se fazer

06. com que a fotografia do desenho continue igualmente

(UFV-MG-2008) Nos olhos de alguns insetos, existe uma

nítida, sem alterar a distância focal da máquina, se a
estrutura cilíndrica, o rabdoma. Como mostrado na figura

distância H for

adiante, os raios luminosos que chegam à extremidade do

rabdoma com ângulo máximo de abertura φ não escapam

do seu interior, como ocorre em uma fibra óptica fabricada

pelo homem. Os índices de refração do rabdoma e do

meio que o cerca são n e n_0 , respectivamente.

n_0

$n H$

φ

A) aumentada de menos de 5 cm.

Então, é **CORRETO** afirmar queA) $n < n_0$ B) aumentada de mais de 5 cm. e $\cos \varphi = n_0/n$.B) $n > n_0$ e $\cos \varphi = n_0/n$. C) reduzida de menos de 5 cm.C) $n < n$ e $\sin \varphi = n/n_0$ D) reduzida de mais de 5 cm.D) $n > n$ e $\sin \varphi = n/n_0$ E) mantida com o mesmo valor inicial.

Editora Bernoulli 65

Frente C Módulo 04

09. (UFMG) Um professor pediu a seus alunos que explicassem **11.** (UFJF-MG) De uma maneira geral, sabemos que o índice

por que um lápis, dentro de um copo com água, parece de refração (n) de um determinado material depende

estar quebrado, como mostrado nesta figura. da frequência da luz incidente (f). A figura a seguir

representa o gráfico do índice de refração em função da frequência da luz incidente para um determinado material.

Se f_1 e f_2 representam duas frequências quaisquer, podemos afirmar que, dentro do material,

$n(f)$

Bruno respondeu: “Isso ocorre porque a velocidade da luz na água é menor que a velocidade da luz no ar”.

Tomás explicou: “Esse fenômeno está relacionado com a alteração da frequência da luz quando esta muda de meio”.

Considerando-se essas duas respostas, é **CORRETO** f f 12 f

afirmar que

A) as velocidades da luz são iguais para as duas

A) apenas a de Bruno está certa.

frequências.

B) apenas a de Tomás está certa.

B) a velocidade da luz com frequência f_2 é maior que a

C) as duas estão certas.

velocidade da luz com frequência f_1 .

D) nenhuma das duas está certa.

C) a velocidade da luz com frequência f_1 é maior que a

10. velocidade da luz com frequência f . 2 (FUVEST-SP-2009) Dois sistemas ópticos, D_1 e D_2 , são

utilizados para analisar uma lâmina de tecido biológico D) nada podemos afirmar sobre as velocidades, pois

a partir de direções diferentes. Em uma análise, a luz a velocidade da luz nesse material independe da

fluorescente, emitida por um indicador incorporado a frequência da luz incidente.

uma pequena estrutura, presente no tecido, é captada,

simultaneamente, pelos dois sistemas, ao longo das

12. (UFMG) Nas figuras I, II e III, estão representados

direções tracejadas. Levando-se em conta o desvio da fenômenos físicos que podem ocorrer quando um feixe de

luz pela refração, entre as posições indicadas, aquela que

luz incide na superfície de separação entre dois meios de

poderia corresponder à localização real dessa estrutura

índices de refração diferentes. Em cada uma delas, estão

no tecido é

mostradas as trajetórias desse feixe. Considerando-se

Observação: Suponha que o tecido biológico seja

essas informações, é **CORRETO** afirmar que ocorre transparente à luz e tenha índice de refração uniforme, mudança no módulo da velocidade do feixe de luz apenas semelhante ao da água.

no(s) fenômeno(s) físico(s) representado(s) em

D₁

(Ar) D₂

Meio 1 Meio 1 Meio 1

A Meio 2 Meio 2 Meio 2

Lâmina

E B de tecido I II III D biológico

C A) I.

B) II.

A) A. C) C. E) E. C) I e II.

B) B. D) D. D) I e III.

66 Coleção Estudo

Refração da luz

13. (UFMG) Um estreito feixe de luz branca (luz solar), **SEÇÃO**
ENEM

propagando-se no ar, incide em um prisma de vidro,

sofrendo dispersão e originando o espectro da luz branca. **01.** *A fibra óptica é um filamento de vidro ou de materiais*

Indique a alternativa que **MELHOR** corresponde ao que

poliméricos com capacidade de transmitir um feixe de luz, que, lançado em uma das extremidades, percorre a

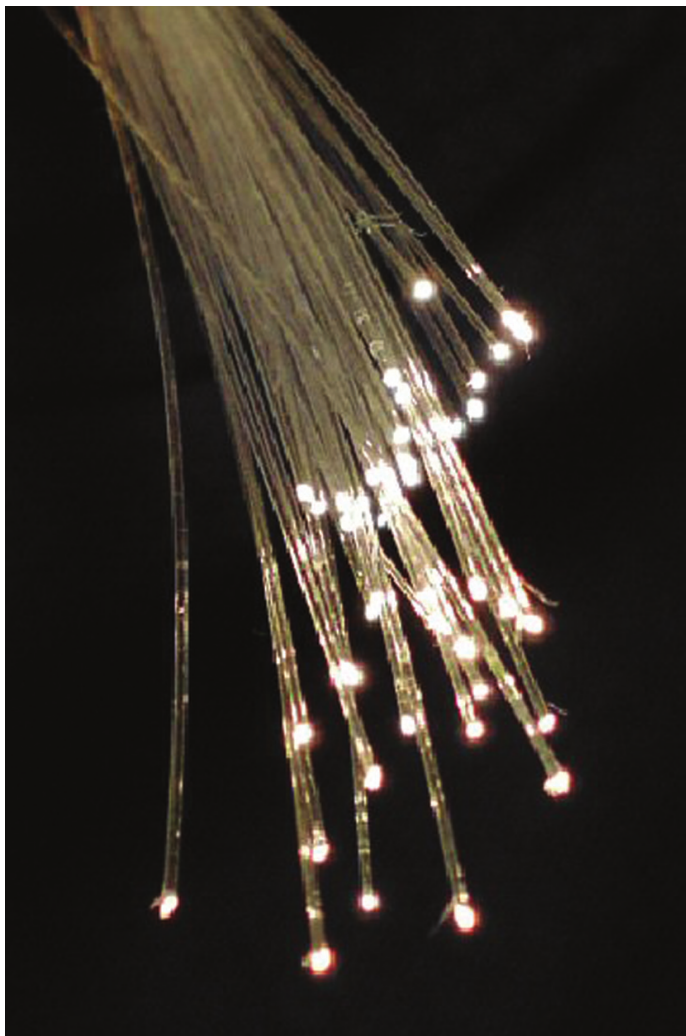
A) fibra por meio de reflexões sucessivas, emergindo quase

Violeta que integralmente na outra extremidade, como ilustra a figura a seguir. A fibra possui no mínimo duas camadas:

Vermelho o núcleo e o revestimento. No núcleo, ocorre a transmissão da luz, que é possível graças a uma diferença de índice

B) Violeta de refração entre o revestimento e o núcleo.

Disponível em: www.wikipedia.com.br. (Adaptação)



Vermelho

C)

Vermelho

Violeta

D) Vermelho

14. (FCMMG) Uma estrela é observada a 45° acima do

horizonte na superfície terrestre. Por causa da refração

atmosférica, na realidade, ela se encontra

A) abaixo dos 45° .

B) acima dos 45° .

wikipedia

C) no mesmo lugar.

De acordo com as informações do texto e com os seus

D) levemente à direita. conhecimentos sobre Óptica, o índice de refração do

15. (UFTM-MG) A miragem é um efeito óptico, frequente A) maior que o do revestimento, para que ocorra núcleo de uma fibra óptica deve ser

nos desertos, produzido pela reflexão total da luz solar reflexão total quando a luz incidir do núcleo para o

na superfície comum a duas camadas de ar aquecidas revestimento.

diversamente, sendo a miragem vista, via de regra, em B) maior que o do revestimento, para que ocorra reflexão

posição invertida. Esse fenômeno é consequência da total quando a luz incidir do revestimento para o

núcleo.

A) difração da luz durante sua trajetória.

C) menor que o do revestimento, para que ocorra

B) difusão da luz ao atravessar as diferentes camadas

reflexão total quando a luz incidir do revestimento

da atmosfera.

para o núcleo.

C) presença de oásis nas regiões desérticas da Terra.

D) menor que o do revestimento, para que ocorra

D) forma esférica da Terra que facilita a dispersão da luz reflexão total quando a luz incidir do núcleo para o

na atmosfera. revestimento.

E) variação do índice de refração do ar com a sua E) igual ao do revestimento, para que ocorra reflexão total

densidade. quando a luz incidir do núcleo para o revestimento.

Editora Bernoulli 67

Frente C Módulo 04

02. (Enem–2010) *Um grupo de cientistas liderado por* **GABARITO**

pesquisadores do Instituto de Tecnologia da Califórnia

(Caltech), nos Estados Unidos, construiu o primeiro

metamaterial que apresenta valor
Fixação *de refração relativo para*
negativo do índice
a luz visível. Denomina-se

metamaterial um material óptico artificial, tridimensional,

formado por pequenas estruturas menores que o 01. B

comprimento de onda da luz, o que lhe dá propriedades

e comportamentos que não são encontradas em materiais 02. D

naturais. Esse material tem sido chamado de “canhoto”.

Disponível em: <http://www.inivacaotecnologica.com.br>. Acesso 03. C

em: 28 abr. 2010. (Adaptação).

04. A

Considerando o comportamento atípico desse

metamaterial, qual é a figura que representa a refração

05. A

da luz ao passar do ar para esse meio?

A) Propostos

Metamaterial

Luz 01. B incidente

02. B

03. B

B)

Metamaterial 04. D

05. B

Luz

incidente

06. B

07. A

C) 08. A Metamaterial

09. A

10. C

Luz

incidente

11. C

12. D

D) Metamaterial

13. B

14. A

Luz

incidente 15. E

E) Metamaterial **Seção Enem**

01. A

Luz 02. D incidente

68 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Trabalho e potencial elétrico 04 D

Neste módulo, estudaremos o trabalho realizado por forças Linhas do campo gravitacional

elétricas e o potencial elétrico. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de potencial elétrico é o volt (V), nome que você certamente já ouviu. Um fio de alta tensão de 10 mil volts, uma bateria automobilística de 12 V e uma tomada de força de 127 V são exemplos clássicos do uso dessa unidade.

Você já sabe que uma carga elétrica cria um campo elétrico no espaço à sua volta. Uma carga cria também um potencial elétrico ao seu redor. Enquanto o campo elétrico nos indica o valor da força elétrica, por unidade de carga, que age em corpos eletrizados (e neutros), o potencial elétrico afere a energia potencial elétrica, por unidade de carga, que esses corpos adquirem no interior de um campo elétrico. Em geral, quando um objeto eletrizado se move entre dois pontos de *Movimento causado pela diferença de potencial gravitacional*.

A variação dessa energia é igual à quantidade de trabalho. As linhas verticais mostradas na figura anterior são um campo elétrico, a sua energia potencial elétrica varia.

realizado pela força elétrica. Por isso, campo e potencial as linhas de força do campo gravitacional da Terra (elas

elétrico são grandezas correlacionadas. Essas características apontam para baixo porque esse é o sentido da força

do campo elétrico são semelhantes às do campo gravitacional gravitacional, e são paralelas porque o campo gravitacional

que você estudou na Mecânica. é constante próximo à superfície do planeta). O potencial

gravitacional, portanto, diminui no sentido das linhas de

Iniciaremos este módulo conceituando fisicamente o força do campo gravitacional.

potencial elétrico e a diferença de potencial elétrico. Depois,

apresentaremos a definição operacional (matemática) para a No estudo sobre campo elétrico, aprendemos que a força

diferença de potencial elétrico, a partir da qual deduziremos elétrica que atua sobre uma carga positiva age no mesmo

expressões para calcular o potencial gerado por cargas sentido do campo elétrico em que essa carga se acha,

pontuais e a diferença de potencial em um campo elétrico enquanto a força que atua sobre uma carga negativa age

uniforme. Por fim, estudaremos a energia potencial elétrica em sentido oposto ao das linhas de campo elétrico. A seguir,

armazenada entre pares de cargas elétricas. Ao longo deste vamos analisar esse problema do ponto de vista do potencial

módulo, introduziremos o conceito de superfície equipotencial. elétrico. Para isso, considere a figura 1, que mostra uma carga

O uso dessas superfícies, em conjunto com as linhas de pontual positiva Q fixada sobre um suporte isolante. Observe

força, aumentará o seu entendimento dos mapas de campo que a carga gera um campo elétrico, representado pelas linhas

elétrico apresentados anteriormente. de força que divergem da carga. De forma semelhante ao caso

gravitacional, o potencial elétrico também decresce no sentido

O MOVIMENTO DE UMA CARGA

das linhas de força. Assim, nessa figura, o potencial elétrico

torna-se menor à medida que nos distanciamos da carga Q .

EM UM CAMPO ELÉTRICO

E O CONCEITO FÍSICO DE

Linhas do campo
elétrico

POTENCIAL ELÉTRICO

de estudar o potencial elétrico. Considere um cilindro em Vamos analisar o conceito de potencial gravitacional antes Q Atração Repulsão –

+ + cima de um dos cantos de uma tábua que se acha sobre uma q q superfície horizontal. O cilindro não rola em direção ao outro canto simplesmente porque não existe diferença de nível

entre eles. Dizemos, nesse caso, que os dois cantos se acham no mesmo potencial gravitacional. Assim, se a extremidade da tábua onde o cilindro se acha for erguida, conforme mostra a figura a seguir, o seu potencial gravitacional torna-se maior que o do outro canto. Por isso, o cilindro rola. A matéria se comporta assim, tende a se deslocar espontaneamente de potenciais

gravitacionais maiores para potenciais gravitacionais menores. *Figura 1: Movimentos causados pela diferença de potencial elétrico.*

Editora Bernoulli 69

Frente D Módulo 04

Agora, imagine que as duas pequenas cargas q, uma No deslocamento da carga q, de A para B, a força elétrica

positiva e a outra negativa, tenham sido abandonadas nas realiza um trabalho W (trabalho elétrico) sobre a carga q. AB posições indicadas na figura 1. A carga positiva é repelida Definimos matematicamente a diferença de potencial

pela carga Q e move-se para a direita, no sentido da linha elétrico, V , por meio da razão entre o trabalho elétrico e AB de força horizontal direita. Ao contrário, a carga negativa é o valor da carga transportada pelo campo: atraída e move-se em sentido oposto ao da linha de força



uma carga positiva move-se espontaneamente, buscando $V = V - V = V_{AB}$ horizontal esquerda. Essa situação parece sugerir que W_{AB} potenciais elétricos menores, enquanto uma carga negativa

busca potenciais elétricos maiores. De fato, qualquer carga Q a uma tensão V não depende do valor da carga q usada nessa AB livre se comportará dessa forma quando for abandonada definição. Se a carga fosse $2q$, o trabalho realizado seria o dobro, se a carga fosse $3q$, o trabalho realizado seria o triplo.

A seguir, vamos quantificar o potencial elétrico. Antes, triplo, e assim por diante. Assim, a razão entre o trabalho e

certifique-se de que você entendeu e fixou os seguintes a carga é constante. Na verdade, a diferença de potencial em

conceitos:

uma região depende apenas da carga fonte que a produziu,

1) Uma carga positiva, solta em um campo elétrico, do meio dielétrico que preenche o espaço e da geometria

sofre ação de uma força elétrica no sentido desse envolvida no problema. Assim como o campo elétrico, o

campo e move-se em direção a potenciais elétricos potencial elétrico é uma propriedade que se manifesta no

menores. Ao contrário, uma carga negativa sofre espaço, algo que existe mesmo quando nenhuma carga de

ação de uma força em sentido oposto ao do campo

prova é ali colocada. Nos exemplos apresentados neste texto, elétrico e move-se para potenciais elétricos maiores.

procure identificar esses aspectos do potencial elétrico.

2) O potencial elétrico decresce no sentido das linhas A diferença de potencial elétrico (e o próprio potencial

de força do campo elétrico.

elétrico) é uma grandeza escalar. A sua unidade no SI é o

O TRABALHO ELÉTRICO E A $\text{joule/coulomb (J/C)}$ ou simplesmente volt (V). A bateria

de um carro apresenta uma diferença de potencial elétrico

DEFINIÇÃO OPERACIONAL DA $\text{de } 12 \text{ V}$ (12 J/C) entre os seus polos. Esse número indica

DIFERENÇA DE POTENCIAL que cada 1 C de carga que se desloca de um polo a outro

ELÉTRICO da bateria, passando através do circuito elétrico interno da

mesma, recebe 12 J de energia elétrica da bateria. Na figura

anterior, se V for 50 V , uma carga de $+1 \text{ C}$ receberá 50 J de A_B

Considere a figura 2, que mostra as linhas de força de um energia elétrica (na forma de trabalho realizado pela força

campo elétrico uniforme. Imagine que uma carga de prova elétrica) no deslocamento de A para B. positiva q seja abandonada no ponto A. Sendo positiva,

Na equação que define a diferença de potencial elétrico,

a carga sofre ação de uma força no mesmo sentido do

campo, deslocando-se para a direita, em direção ao ponto B. devemos levar em conta tanto o sinal do trabalho W quanto A_B

Como a carga positiva move-se espontaneamente para o da carga q. Para a situação descrita na figura anterior,

potenciais elétricos menores, concluímos que o potencial o trabalho atuante sobre q é positivo, pois a força elétrica

elétrico do ponto A (V_A) é maior que o do ponto B (V_B). age no mesmo sentido do deslocamento. Como o valor de A_B

A diferença entre esses potenciais é denotada por q também é positivo, a razão W/q é igualmente positiva. AB

$V = V - V$. Esse termo pode ser chamado também de AB AB . Isso significa que a diferença de potencial $V - V$ é positiva, AB

voltagem ou tensão elétrica entre A e B. e $V > V$. Esse resultado era esperado, pois o potencial AB

$V - V_{AB}$ elétrico diminui no sentido das linhas do campo elétrico.

A mesma conclusão pode ser encontrada se uma carga $q < 0$

for abandonada em B. Nesse caso, a carga sofrerá ação de

q uma força em sentido oposto ao do campo e se moverá de B F

+

para A. A diferença de potencial entre B e A será definida por:

AB

$V - V = W/q$. O trabalho W será positivo, pois a força F_{BA} atuará no mesmo sentido do deslocamento (de B para A).

d

Como $q < 0$, concluiremos, como antes, que $V - V < 0$ e BA

Figura 2: Diferença de potencial elétrico entre A e B. que $V < V$. BA

70 Coleção Estudo

Trabalho e potencial elétrico

DIFERENÇA DE POTENCIAL EM UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

A equação apresentada no tópico anterior é geral. Você pode usá-la para avaliar a diferença de potencial elétrico criada por qualquer tipo de fonte. Quando o campo elétrico

tencial
elétrico (V)

não for uniforme, a força elétrica atuante na carga q será P_0 variável ao longo do deslocamento, e o cálculo do trabalho

elétrico poderá ser complicado. Porém, para o caso de um Deslocamento do fio verde campo elétrico uniforme (como o da figura anterior), a força

elétrica sobre a carga de prova é constante, e o trabalho b) elétrico pode ser calculado facilmente por meio da seguinte

expressão:

$$W = Fd \cos_{AB} \theta \cdot V$$

Nessa expressão, F é o módulo da força elétrica que age $\Omega A V$ na carga de prova, d é o deslocamento da carga de prova e

θ θV é o ângulo que a força elétrica forma com o deslocamento. Observe a figura 2, e veja que esse ângulo vale 0° , pois a

força e o deslocamento apresentam sentidos iguais (para a

direita). Como o cosseno de 0° vale $+1$, o trabalho elétrico, *Figura 3: (a) Gráfico mostrando a redução linear do potencial*

nessa situação, é simplesmente W elétrico em um campo elétrico uniforme; (b) aparato para $= Fd_{AB}$

mapeamento do potencial elétrico.

No estudo sobre campo elétrico, aprendemos que o

módulo da força elétrica atuante sobre uma carga q pode ser calculado a partir dos valores do campo elétrico E e da carga q , por meio da expressão: **PARA REFLETIR**

$F = Eq$ Em um dia seco, duas pessoas estendem suas

FÍSICA mãos para se cumprimentarem e, pouco antes

Então, podemos substituir essa expressão na equação do toque, uma centelha salta entre as pontas

do trabalho. A seguir, substituindo a equação do trabalho das mãos das pessoas. Isso ocorre porque a

na definição de diferença de potencial elétrico, obtemos voltagem entre as mãos é de alguns milhares de

a seguinte equação para a diferença de potencial em

volts. Sendo essa voltagem tão alta, por que ela

um campo uniforme (faça você mesmo essas passagens

não causa um choque fatal?

algébricas para chegar nesta expressão):



$V_{AB} = Ed$ **SUPERFÍCIES
EQUIPOTENCIAIS**



Essa equação revela que, para um campo uniforme,



percorrendo-se uma linha de força no seu sentido, a diferença



Em torno de uma fonte de campo e potencial elétrico,



de potencial elétrico é diretamente proporcional à distância



como uma esfera ou uma placa eletrizada, existem



percorrida, implicando uma redução linear do potencial certas superfícies onde o potencial elétrico é constante.



elétrico. Se o campo elétrico da figura 2 for igual a 50 N/C e a

distância d for 10 cm , o potencial V será $5,0 \text{ V}$ abaixo de V_B . O conhecimento dessas superfícies lhe permitirá entender Por isso, elas são chamadas de superfícies equipotenciais.

pois $V = 50,0,10 = 5,0$ V. Se a distância d fosse o dobro, $_{AB}$ com mais clareza muitos problemas de Eletrostática. o potencial de V seria 10 V abaixo de V , e assim por diante. $_{BA}$ Antes de estudarmos as superfícies de potenciais elétricos

A figura 3 ilustra uma experiência para confirmar esse constantes, será instrutivo discutirmos uma situação relativa

comportamento do potencial elétrico em um campo uniforme, às superfícies equipotenciais de um campo gravitacional. gerado por duas placas uniformemente eletrizadas e ligadas

a uma bateria de 9 V. O potencial elétrico é avaliado com

Superfícies equipotenciais

a ajuda de um instrumento de medidas elétricas chamado

gravitacionais voltímetro. Nesse experimento, um líquido resistivo é posto

entre as placas. A baixa condutividade desse fluido dificulta

o descarregamento das placas, mas garante o contato Considere um livro de massa m sobre uma mesa de

elétrico entre os terminais do voltímetro. O princípio de altura h , como mostra a figura 4. Vamos usar essa figura

funcionamento desse medidor será visto em outro módulo para quantificar o potencial gravitacional e analisar algumas

desta Coleção. superfícies equipotenciais relacionadas com essa situação.

Editora Bernoulli 71

Frente D Módulo 04

Livro de massa m A primeira característica pode ser constatada observando

$V = gh$ que as superfícies equipotenciais gravitacionais são paralelas M

ao solo horizontal (uma laje, o tampo de uma mesa, etc.)

e esta superfície é perpendicular às linhas de força do campo

gh h gravitacional.

$V_T = 4$ A segunda característica é uma consequência da

h equação $V = W/q$ (ou m). Nessa expressão, vemos que AB AB

4 o trabalho depende apenas da própria carga (ou massa,

v no caso gravitacional) e da diferença de potencial $V - V_s = 0_{AB}$

O primeiro potencial é o do ponto A (local de partida), que

Figura 4: Níveis de potencial gravitacional constante no campo se acha sobre uma superfície equipotencial de potencial V_A gravitacional da Terra. O outro potencial é o do ponto B (local de chegada), situado

Se esse livro cair, o campo gravitacional realizará sobre ele sobre uma superfície de potencial V . O caminho entre esses B

um trabalho dado por mgh (g é a aceleração da gravidade). dois pontos (ou entre essas duas superfícies) é, portanto,

irrelevante. O trabalho realizado pela força elétrica (ou pela

Semelhantemente à definição para a diferença de potencial

força gravitacional) independe da trajetória.

elétrico, podemos definir a diferença de potencial gravitacional

por meio da razão entre o trabalho gravitacional e a massa do A
terceira característica das superfícies equipotenciais

objeto em queda. Aplicando essa definição, podemos obter uma ϵ
também uma consequência da equação $V = W / q_{AB}$

(ou m). Se os pontos A e B acham-se sobre a mesma

expressão para calcular a diferença de potencial gravitacional
superfície equipotencial, então $V = V$. Logo, V e W_A

entre a superfície da mesa (M) e o solo (S): B_{AB}

valem zero. Podemos ainda afirmar que o trabalho ϵ zero

$V = V - V = = gh_{MS} m mgh$ simplesmente porque a
força exercida pelo campo, sobre

um corpo que se desloca sobre uma superfície equipotencial,

atua perpendicularmente ao deslocamento. Por exemplo,

Nessa equação, note que a diferença de potencial

se o livro da figura anterior se deslocar de um ponto

gravitacional V não depende da massa do livro, da mesma m_A para
um ponto B, ambos sobre a mesa, o seu peso,

forma que a diferença de potencial elétrico não depende sendo
perpendicular à mesa (superfície equipotencial),

da carga de prova. Se o solo for considerado como o nível não
realizará nenhum trabalho.

de potencial gravitacional zero, o potencial gravitacional

Superfícies equipotenciais da mesa será
dado por $V = gh$. Essa expressão pode ser m

usada para calcular o potencial gravitacional de qualquer

elétricas ponto próximo à superfície da Terra (desde que g
possa ser

Agora, vamos analisar as superfícies equipotenciais de um considerado constante). Por isso, se o travessão fixado nos

campo elétrico. As características discutidas anteriormente pés da mesa estiver a uma altura $h/4$ do solo, o potencial também se aplicam a esse caso. Por isso, as superfícies

gravitacional nesse nível será $V = gh/4$, como está indicado τ equipotenciais de um campo elétrico uniforme são planos

na figura anterior. perpendiculares às linhas de força desse campo. Observe

os dois planos verticais que passam pelos pontos A e B

A superfície da mesa é uma superfície equipotencial, pois

na figura 5. Esses planos são vistas laterais de superfícies

todos os seus pontos encontram-se à mesma altura em equipotenciais; a primeira apresenta o potencial elétrico V_A

relação ao solo, logo, se acham no mesmo potencial gh . enquanto a segunda acha-se no potencial V_B . O solo é outra superfície equipotencial, de potencial

A figura 5 mostra uma visão tridimensional de superfícies

gravitacional zero. O plano horizontal que passa pelo equipotenciais de um campo elétrico uniforme. Observe

travessão da mesa é uma terceira superfície equipotencial, que os potenciais elétricos decrescem de quantidades iguais

de potencial $gh/4$. porque as superfícies equipotenciais mostradas na figura

acham-se igualmente espaçadas. Isso está de acordo com

Entre as características das superfícies equipotenciais, as

a expressão $V = Ed$ para a queda de potencial em um três seguintes devem ser destacadas:

campo uniforme.

1) Uma superfície equipotencial é perpendicular às linhas

Agora, observe os caminhos AB e ACB indicados nessa de força do campo a ela associado.

figura. Uma carga q receberá a mesma quantidade de energia

2) Quando um corpo de prova se move entre duas do campo elétrico (o mesmo trabalho), independentemente

superfícies equipotenciais, o trabalho realizado pela de ela seguir o primeiro ou o segundo caminho, pois o

força exercida por esse campo independe da trajetória trabalho independe da trajetória. Esse trabalho é dado por

que o corpo segue. $W = qV$. A diferença de potencial V vale 10 V para os AB AB AB

3) Quando um corpo de prova se move entre dois pontos dois casos. Se q for igual a $2,0 \mu\text{C}$, o trabalho W será 20 J . AB μ

pertencentes à mesma superfície equipotencial, No trajeto ACB, você saberia explicar por que

o trabalho realizado pela força desse campo vale zero. $W = 0$ e $W = 20 \text{ J}$? AC CB μ

72 Coleção Estudo

Trabalho e potencial elétrico





30 V



C PARA REFLETIR 20 V



B Por que duas superfícies equipotenciais



diferentes não podem se interceptar?



A EXERCÍCIO RESOLVIDO d



d **01.** Uma pequena pedra de massa m e carga $+q$ está suspensa por um fio isolante de comprimento L e acha-se em repouso no ponto A. Subitamente, aplica-se um campo

de um campo elétrico uniforme. elétrico uniforme voltado para a direita, como mostra Figura 5: Visão em três dimensões de superfícies equipotenciais

a figura a seguir. Calcular a velocidade v da pedra no

Como último exemplo deste tópico, observe a figura 6, ponto B em função de m , q , L e V (diferença de potencial AB

que mostra o mapa do campo e do potencial elétrico gerados

por uma nuvem eletrizada positivamente (não mostrada na elétrico entre os pontos A e B). figura). A nuvem está eletrizada, pois ela induziu uma carga $V V_{AB}$ negativa no solo e no corpo do rapaz. As linhas dirigidas para

baixo são as linhas de força do campo elétrico, enquanto v as linhas tracejadas são cortes laterais das superfícies L

equipotenciais desse campo. Observe que as superfícies B equipotenciais são perpendiculares às linhas de força. Observe

ainda o decrescimento do potencial elétrico no sentido das

linhas de força. O valor zero para o potencial do solo foi A arbitrado. Esse potencial poderia ter sido fixado em -100 V ,

por exemplo. Nesse caso, a primeira superfície de baixo para

FÍSICA

cima seria de 0 V , a segunda de $+100\text{ V}$, e assim por diante. **Resolução:** O importante é que as diferenças de potencial elétrico entre

Como a carga é positiva, a força elétrica sobre a pedra

as superfícies equipotenciais permaneceriam inalteradas.

está no mesmo sentido do campo elétrico. A ação dessa

Observe que o rapaz dessa figura está segurando força impulsiona a pedra sempre para a direita. Presa no

positiva $q = 0,20\text{ }\mu\text{C}$. Se o rapaz o elevar desde a superfície na figura. A velocidade da pedra no ponto B pode ser equipotencial de $+100\text{ V}$ até a superfície de $+200\text{ V}$, o campo calculada por meio da relação entre o trabalho

da força um pente. Considere que o pente apresenta uma carga fio, a pedra descreve o arco de circunferência mostrado

elétrico realizará sobre o pente um trabalho de $-20 \mu\text{J}$. Calcule você mesmo esse valor e explique por que ele é resultante e a variação da energia cinética da pedra:

o pente e o sentido do seu deslocamento). Δ negativo (observe o sentido da força elétrica que atua sobre $1 \text{ m} = W \Rightarrow mv^2 = W + W_c$

R P E 2

Nessa expressão, W_P é o trabalho realizado pela força
 $+500 \text{ V}$ gravitacional, e W_E é o trabalho realizado pela força
 elétrica. O trabalho da força exercida pelo fio sobre a pedra
 $+400 \text{ V}$ é nulo, pois essa força age sempre perpendicularmente
 à trajetória circular. O trabalho gravitacional é dado por:
 $+300 \text{ V}$ $W_P = -mgL$, em que g é a aceleração da gravidade.

O sinal negativo se deve ao fato de a força peso se opor
 $+200 \text{ V}$ ao deslocamento da pedra. O trabalho elétrico pode ser
 calculado por:

$$W = V q_{EAB}$$

$$+100 \text{ V}$$

Substituindo esses dois trabalhos na relação envolvendo
 0 V a energia cinética da pedra, obtemos a velocidade v :

Figura 6: Campo e potencial elétrico gerados por uma nuvem $1 \text{ m} = V q_{EAB} mv^2 = -mgL +$
 $V v = -2gL_{AB} \cdot q \Rightarrow$  eletrizada positivamente. 2 m

Editora Bernoulli 73

Frente D Módulo 04

POTENCIAL ELÉTRICO DE UMA

Da Mecânica, sabemos que a área destacada no gráfico da figura anterior é numericamente igual ao trabalho

CARGA PONTUAL

realizado pela força elétrica exercida por Q sobre a carga

de prova q , no deslocamento de A para B . Essa área pode

Neste item, vamos analisar o potencial elétrico em volta ser calculada por meio de uma operação matemática

de uma carga pontual. Observe a figura 7, que mostra uma conhecida como integração (essa técnica matemática não

carga pontual $Q > 0$ fixa sobre um suporte isolante. Uma faz parte do programa do Ensino Médio e dos programas

carga de prova $q > 0$, abandonada no ponto A , é repelida

de vestibulares em nosso país). Para nosso objetivo, basta por Q e move-se em direção ao ponto B . O potencial em A

saber que essa técnica fornece a seguinte expressão para é maior que o potencial em B , porque as linhas de força do campo elétrico de Q são dirigidas de A para B . Como q essa área (trabalho W): AB

é positiva, ela se move espontaneamente em direção aos () $1 \quad 1 \quad W = KQq$ potenciais menores. $AB \mid - \parallel r \mid \mid (AB)$

Linhas do Substituindo esse trabalho na definição para a diferença

campo elétrico de potencial elétrico, obtemos a seguinte expressão para o

cálculo da diferença de potencial entre dois pontos A e B ,

Q gerada por uma carga pontual: $F = + A q B \left(\frac{1}{r^2} \right)$
 $W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}$

$$V_B - V_A = \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}$$

Figura 7: Diferença de potencial elétrico entre pontos próximos Como a carga de prova se move para potenciais mais

baixos, é coerente considerar que o potencial de um ponto B

Podemos calcular a diferença de potencial elétrico entre infinitamente afastado seja zero ($V = 0$). Nesse caso, B

os pontos A e B dividindo o trabalho realizado pela força a razão $1/r$ também tende a zero. Assim, o potencial elétrico B elétrica que age na carga de prova no deslocamento AB pelo do ponto A pode ser calculado por: valor da própria carga q:



$$V_B - V_A = \int_A^B \frac{1}{r^2} dr = \left[-\frac{1}{r} \right]_A^B = \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}$$

Nesse deslocamento, o módulo da força elétrica diminui à

Nessa equação, omitimos o índice A para que a expressão medida que a carga q se afasta da carga Q, de acordo com a

assuma um caráter mais geral. Assim, ela fornece o potencial Lei de Coulomb. Por isso, o trabalho não pode ser calculado

de um ponto qualquer situado a uma distância r de uma
por meio do produto simples entre a força e o deslocamento.

A figura 8 mostra o gráfico da força elétrica em função da carga pontual Q . Para pontos próximos à carga, o módulo

distância da carga q à carga Q . Neste diagrama, F do potencial é alto. Para pontos distantes, o módulo é baixo, é o módulo A

da força que a carga Q exerce sobre a carga q quando esta tendendo a zero para pontos infinitamente afastados.

se acha no ponto A, cuja distância até a carga Q vale r_A . No desenvolvimento da equação anterior, usamos como

No ponto B, esses valores são F e r_B . B exemplo uma carga pontual ($Q > 0$). Não há nenhuma

F restrição quanto ao uso da equação, caso a carga seja

F A negativa. O único cuidado que deve ser tomado é o de colocar

A Trabalho W realizado pela força

AB o sinal negativo da carga quando você for substituir valor de Q
elétrica que Q exerce sobre q

no deslocamento de A para B. na equação do potencial elétrico. Por exemplo, o potencial

elétrico, gerado por uma carga $Q = -1,0 \mu\text{C}$, imersa no ar e

a uma distância $r = 9,0 \text{ m}$, vale $V = -1,0 \times 10^3 \text{ volts}$ (faça

F B você mesmo os cálculos, lembrando que $K = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

B

para o ar).

r r O gráfico do potencial de uma carga pontual em função da A B r

distância a essa carga é uma hipérbole. Dependendo do sinal

Figura 8: A área sob a curva do gráfico da força versus o

deslocamento é numericamente igual ao trabalho realizado por da carga (de módulo igual a $60 \mu\text{C}$), o gráfico pode apresentar

essa força. um dos dois aspectos mostrados na figura a seguir.

74 Coleção Estudo

Trabalho e potencial elétrico

$$V (10^4 \text{ V}) + 500 \text{ V}$$

$$54 + 400 \text{ V } Q = + 60 \mu \text{ C}$$

$$+ 300 \text{ V} + +$$

$$+ 200 \text{ V} + + + h + 100 \text{ V}$$

$$27 \text{ 0}$$

$$18$$

1 2 3 r (m) *Figura 11: Energia potencial gravitacional e elétrica.*

1 2 3 r (m) Quando a pedra é erguida contra o campo gravitacional,

ela ganha energia potencial gravitacional. O potencial

-18 gravitacional pode ser calculado por gh (aceleração da

-27 gravidade vezes a altura da pedra em relação à mesa).

Além disso, a energia potencial gravitacional da pedra é

dada por mgh . Portanto, a energia potencial gravitacional

-54 pode ser interpretada como o produto entre a massa e o

$$Q = -60 \mu \text{ C}$$

potencial gravitacional.

V (10⁴ V) A pedra eletrizada imersa no campo elétrico da mesa

Figura 9: Potencial elétrico de uma carga pontual em função também possui energia potencial elétrica. Semelhantemente

da distância. ao caso gravitacional, a energia potencial elétrica pode ser

Figura 10: Superfícies equipotenciais em torno de uma carga cinética. Naquele caso, a equação que obtivemos para a

pontual negativa $-Q$. velocidade apresentou a parcela relativa à gravidade negativa

porque o corpo moveu-se contra o campo gravitacional.

Finalizaremos este módulo apresentando a equação para

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

calcular a energia potencial elétrica de um sistema formado por duas cargas pontuais. A figura 12 mostra uma situação

desse tipo. O sistema formado pelas duas cargas pontuais

A figura 11 mostra a superfície de uma mesa uniformemente possui energia potencial elétrica. Se uma das cargas for

eletrizada com carga negativa. O campo elétrico decorrente solta, a energia potencial elétrica do sistema se converterá

dessa distribuição de cargas é uniforme, com as linhas em energia cinética.

de força dirigidas de cima para baixo. As superfícies Q Q_{12} equipotenciais são planas e paralelas à mesa. Algumas estão $+$ $-$ mostradas na figura. Uma pedra eletrizada positivamente r

encontra-se próxima à mesa, suspensa por um fio isolante. *Figura 12: Energia potencial elétrica armazenada em duas*

A massa e a carga da pedra são m e q , respectivamente. *cargas pontuais.*

Editora Bernoulli 75

Frente D Módulo 04

Podemos deduzir uma expressão para a energia potencial **Resolução:**

elétrica desse sistema usando o que aprendemos na Primeiro, vamos calcular o potencial elétrico do ponto A.

carga é igual ao produto do valor da carga pelo potencial e a carga negativa do dipolo criam no ponto A. Como as elétricos da posição em que ela se encontra. Por exemplo, distâncias de A até essas cargas são iguais, e como as cargas discutão da figura 12: a energia potencial elétrica de uma Esse valor é a soma dos potenciais que a carga positiva

o potencial elétrico gerado pela carga Q , no local onde se possuem módulos iguais e sinais opostos, concluímos que a carga Q , é dado por: os potenciais elétricos gerados pelas cargas no ponto A KQ/r têm mesmo módulo e são opostos. Assim, o potencial $V = 0$ elétrico resultante no ponto A vale zero (essa resultante

Então, V é a soma algébrica dos potenciais individuais, porque vezes a carga Q é a energia potencial elétrica da

carga Q o potencial é uma grandeza escalar). Simbolicamente: em relação à carga Q :

$$E_{KQ} = KQ/r \quad V = 0 \quad V_A = Q/r \quad \text{Agora, vamos calcular os potenciais elétricos dos pontos}$$

Se uma das cargas for liberada (por exemplo, se o fio B e C. Naturalmente, esses potenciais são iguais, pois B

que prende a carga Q se romper), a força de atração a 2 e C acham-se sobre a mesma superfície equipotencial.

puxará em direção à outra carga. A energia E se tornará E_B O potencial em B e em C, criado pela carga $+60 \mu C$

maior em módulo, pois a distância r entre as cargas irá ($r = 2,0 \text{ m}$) e pela carga $-60 \mu C$ ($r = 1,0 \text{ m}$), pode ser diminuir à medida que a carga livre se aproximar da carga

calculado por:

A diminuição de E implicará no aumento da energia cinética $c = 2,0 \times 10^{-6} \text{ J}$, $E_B = V_B \cdot q = 9,0 \times 10^9 \cdot (-6 \times 10^{-6})$ da carga liberada. V ela é negativa, uma vez que o produto Q/r é negativo. $60 \times 10^{-6} \times 10^{-6} = 6 \times 10^{-12} \text{ J}$ fixa. Entretanto, de fato, essa energia diminuirá, porque

Para um sistema com várias cargas, a energia potencial $E_B = V = -2,7 \times 10^5 \text{ volts}$

elétrica é calculada da seguinte forma: primeiramente, Com esses valores, podemos calcular o trabalho elétrico

calculamos as energias potenciais das cargas tomadas duas a duas sobre a carga $q = -2,0 \mu\text{C}$ que se desloca de duas, em arranjo. Depois, somamos essas parcelas para obter A para B. Usando a definição de diferença de potencial

a energia do conjunto. Para o caso de três cargas Q_1 , Q_2 e Q_3 , elétrico, temos:

por exemplo, a energia do conjunto é dada por: $W = (V_B - V_A)q = [0 - (-2,7 \times 10^6) - (-2 \times 10^{-6})] \text{ AB} = 12 \text{ KQ} + 13 \text{ KQ} + 23 \text{ PE} = -5,4 \times 10^{-1} \text{ J} = -0,54 \text{ J}$ Nessa expressão, r é a distância entre as cargas Q_i e Q_j , pontos acham-se sobre a mesma superfície equipotencial,

e assim por diante. Para $E > 0$, o sistema é repulsivo, isto é, $V = 0$. BC as cargas afastam-se entre si quando liberadas. Ao contrário,

para $E < 0$, o sistema é atrativo (caso da figura 12). PE

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

EXERCÍCIO RESOLVIDO 01. (UNIFESP-2006 / Adaptado) Na figura, as linhas tracejadas

02. representam superfícies equipotenciais de um campo A figura mostra o mapa de campo elétrico de um dipolo

elétrico constituído por duas cargas de sinais opostos e elétrico; as linhas cheias I, II, III, IV e V representam

módulos iguais a $60 \mu\text{C}$. Considere o ponto A mostrado cinco possíveis trajetórias de uma partícula de carga q ,

na figura, que se acha sobre a superfície equipotencial positiva, realizadas entre dois pontos dessas superfícies,

simétrica em relação às cargas. Considere também os sob a ação da força elétrica gerada pelo campo.

pontos B e C, situados sobre uma mesma superfície III

equipotencial, sendo que os dois se acham a 1,0 m da carga negativa e a 2,0 m da carga positiva. Calcular o trabalho que o campo elétrico realiza quando uma carga de prova $q = -2,0 \mu\text{C}$ é levada do ponto A ao ponto B. Calcular o trabalho se a carga for levada, a seguir, do IV ponto B ao ponto C. I

A V

B II

A trajetória em que o trabalho é maior, em módulo, é

— +

A) I. D) IV.

B) II. E) V.

C C) III.

76 Coleção Estudo

Trabalho e potencial elétrico

02. (UFLA-MG–2006) O diagrama potencial elétrico *versus* Anteparo

distância de uma carga elétrica puntiforme Q no vácuo

é mostrado a seguir. Considere a constante eletrostática

do vácuo $K_{9220} = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. Pode-se afirmar que o A B

valor de Q é

V (volt) Informação:

Velocidade de retorno

Coefficiente de restituição =

Velocidade de impacto

A) 42,3 cm. D) 51,2 cm.

30 B) 46,6 cm. E) 54,0 cm.

C) 49,8 cm.

3 r (cm) **05.** (UFOP-MG) O campo elétrico em uma dada região é

A) $+3,0 \times 10$ C.

-12 uniforme e tem módulo $E = 100$ N/C, como mostra a
figura a seguir.

B) $+0,1 \times 10^{-12}$ C.

C) $+3,0 \times 10^{-9}$ C. 0,10 m

D) $+0,1 \times 10$ C.

-9 A B

E) $-3,0 \times 10^{-12}$ C. 0,050 m E

03. (FMTM-MG) Na figura, estão representadas três cargas C

elétricas pontuais, $q_1 > 0$, $q_2 < 0$ e $q_3 < 0$, isoladas e 1 2 3

imersas no vácuo, e um ponto P. O potencial elétrico no

ponto P criado pelas A) **DETERMINE** a diferença de potencial entre os pontos

A e B, B e C e A e C.

q_1 q_2 B) **DETERMINE** a
força elétrica que age sobre
uma **FÍSICA**

P carga pontual $q = 1,0 \times 10^{-6}$ C,
colocada no ponto A

deste campo. **DETERMINE** o trabalho realizado por

q_3 um agente externo para conduzir essa carga com

A) três cargas elétricas é calculado somando-se velocidade constante de A até C.

algebricamente os potenciais elétricos devidos às

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

cargas q_1 , q_2 e q_3 .

B) três cargas elétricas é calculado somando-se

vetorialmente os potenciais elétricos devidos às

cargas q_1 , q_2 e q_3 . **01.** (CEFET-MG-2010) Um elétron desloca-se entre os pontos

C) três cargas elétricas é calculado somando-se os A e B, segundo as trajetórias 1, 2 e 3, representadas

módulos dos potenciais elétricos devidos às cargas na figura a seguir, ao ser colocado em uma região onde

q_1 , q_2 e q_3 . existe um campo elétrico uniforme, dirigido da esquerda

D) cargas elétricas q_2 e q_3 é zero, independentemente para direita.

do valor da carga elétrica q_1 .

E) cargas elétricas q_1 , q_2 e q_3 é zero, devido à posição

das cargas em relação ao ponto P. B

2 3

04. (Mackenzie-SP-2007) Uma partícula de massa 2,0 g,

eletrizada com carga elétrica positiva de 20×10^{-6} C,

é abandonada do repouso no ponto A de um campo E

elétrico uniforme, cujo potencial elétrico é 250 V. Essa

partícula adquire movimento e se choca em B, com o Os trabalhos W_1 , W_2 e W_3 , realizados pela força elétrica 1 2 3

anteparo rígido e fixo a 80 cm do ponto A. O potencial ao longo dos percursos 1, 2 e 3, estão relacionados por

elétrico do ponto B é de 50 V. O choque entre a partícula A) $W = W = W$. D) $W < W < W$. 123123 e o anteparo tem coeficiente de restituição igual a 0,80. B) $W_1 = W_2 < W_3$. E) $W_1 > W_2 > W_3$. A distância do anteparo em que essa partícula vai

parar será C) $W > W = W$. 123

Editora Bernoulli 77

Frente D Módulo 04

02. (PUC Minas–2007) A figura mostra um campo elétrico **05.** (UFMS) Duas cargas elétricas fixas puntiformes Q_A e Q_B

uniforme e três superfícies equipotenciais, representadas de massas m_A e m_B , respectivamente, localizadas sobre

por A, B e C. Considerando-se o módulo do campo elétrico um eixo vertical, estão separadas por uma distância $2a$,

como $4,0 \times 10^2$ V/m, então o trabalho necessário para se simetricamente dispostas em relação à origem do

levar uma carga $q = 1,0 \times 10^{-6}$ C do ponto 2 até o ponto 6 sistema de eixos ortogonais, conforme a figura seguinte.

pela trajetória retilínea 256 será de Tomando-se sobre o eixo horizontal um ponto P de

A coordenadas ($x = 0$) e considerando que não há B C 2 1 2 E = $4,0 \times 10$ V/m nenhuma carga elétrica ou massa nula, é **CORRETO**

6 afirmar que

Q_A

5 4 3 a P

50 V 100 V 150 V a

A) $W = 4,0 \times 10^{-4}$ J. C) $W = 6,0 \times 10^{-5}$ Q J.B

B) $W = 1,0 \times 10^{-4}$ J. D) $W = 8,0 \times 10^{-5}$ J.

01. se $Q + Q = 0$, o potencial elétrico resultante, gerado A B

03. pelas duas cargas no ponto P, será nulo. (Unimontes-MG) Quando uma partícula de carga $q < 0$

se move de A para B, ao longo da linha de campo elétrico, 02. o potencial gravitacional resultante, gerado pelas duas

como mostrado na figura, o campo elétrico realiza sobre massas no ponto P, será nulo.

ela um trabalho W_0 . As diferenças de potencial elétrico 04. se $Q_A + Q_B = 0$, o campo elétrico resultante, gerado

$(V - V)$, $(V - V)$ e $(V - V)$ são, respectivamente, B A C A C B pelas duas cargas no ponto P, será nulo.

08. o campo gravitacional resultante, gerado pelas duas

A massas, terá o sentido oposto ao eixo vertical se as duas massas forem iguais.

B 16. o campo elétrico resultante, gerado pelas duas cargas,

terá o sentido oposto ao eixo horizontal se as duas Equipotenciais

cargas forem iguais e negativas.

campo elétrico Linhas de C Soma ()

A) W_0/q , W_0/q , 0. C) W_0/q , 0, 0. **06.** (UEM-PR) Duas cargas puntiformes $+q$ e $-q$ são mantidas,

B) 0, 0, W em equilíbrio, nos vértices do retângulo de lados $/q$. D) W /q , W /q , W $/q$. 0 0 0 0 a = 3 m e b = 4 m, conforme a figura. Considere a

04. constante de Coulomb K e o potencial $V = 0$ no infinito.

(UFMS-2006 / Adaptado) Um dipolo elétrico é constituído Nessas condições, assinale o que for **CORRETO**.

por uma carga positiva e uma negativa (veja a figura).

O ponto 1 está equidistante das cargas, os pontos 2 e 3 e B estão equidistantes da carga positiva e o ponto 4 possui a $+q$

mesma distância que o ponto 1 da carga positiva. Qual(is)

das afirmações a seguir é(são) **CORRETA(S)**? a

1 2 3 4

- + A -q

() O trabalho para um agente externo trazer uma carga 01. O potencial no ponto B é maior que o potencial no ponto A, ou seja, $V_B > V_A$. de prova do infinito até o ponto 1 é nulo. 02. No cruzamento das diagonais do retângulo, o potencial () O trabalho para um agente externo trazer uma carga é nulo. Porém, o campo elétrico é diferente de zero. de prova do infinito até o ponto 2 é maior que para 04. $V - V = Kq/6$ (em volts). trazer a carga de prova até o ponto 3. A_B 08. O trabalho necessário para deslocar uma terceira () O campo elétrico no ponto 1 é nulo. carga q' , em equilíbrio, de A até B, é igual à energia

() O potencial elétrico no ponto 3 é igual ao potencial potencial do sistema formado pelas três cargas.

elétrico no ponto 2. 16. O campo elétrico resultante, no ponto A, é igual ao

() O trabalho para um agente externo trazer a carga do campo elétrico resultante, no ponto B.

ponto 4 para o ponto 3 é igual ao trabalho para trazer 32. $(V_A - V_B) \neq (V_B - V_A)$.

a carga do ponto 2 ao ponto 1. Soma ()

78 Coleção Estudo

Trabalho e potencial elétrico

07. (UFRGS–2007) A figura a seguir representa duas cargas **11.** (Unimontes-MG–2007) Nos vértices de um triângulo

elétricas puntiformes, mantidas fixas em suas posições, equilátero de lado L, são colocadas três cargas

de valores $+2q$ e $-q$, sendo q o módulo de uma carga de puntiformes Q positivas e

iguais. Sendo K a constante

referência, de Coulomb, a energia potencial eletrostática (E_{pe}) do

sistema é dada por

$$\begin{aligned} \text{I) } E_{pe} &= 3KQ/L, \text{ C) } E_{pe} = KQ^2/2L, -q + 2q \text{ B) } E_{pe} = 2KQ^2/L, \\ \text{D) } E_{pe} &= KQ/L. \end{aligned}$$

Considerando-se zero o potencial elétrico no infinito,

12. (Unimontes-MG-2010) Uma carga $Q = 2 \text{ C}$ está num

é **CORRETO** afirmar que o potencial elétrico criado pelas

ponto A do espaço onde existe um campo elétrico.

duas cargas será zero também nos pontos

O trabalho realizado pela força elétrica, para deslocar essa

A) I e J. C) I e L. E) K e L. carga do infinito até o ponto A, é igual a W . Se o potencial

B) I e K. D) J e K. elétrico no ponto A é 30 V , o módulo do trabalho W vale

A) 40 J . C) 60 J .

08. (UEL-PR) Um elétron escapa da placa negativa de um B) 30 J . D) 50 J .

capacitor, com velocidade inicial desprezível. Se a diferença

de potencial entre as placas do capacitor é de 200 V

e a **13.** (Mackenzie-SP-2006) Uma unidade de medida de energia

carga elementar é de $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, a energia cinética com muito utilizada em Física Nuclear é o elétron-volt (eV),

que o elétron atinge a placa positiva é, em joules, os múltiplos quilo elétron-volt (keV) e mega elétron-volt

A) $3,2 \times 10^{-23}$. C) $3,2 \times 10^{-21}$. E) $3,2 \times 10^{-17} \text{ (MeV)}$ são ainda mais usuais. Comparando o elétron-volt com a unidade de medida do Sistema Internacional, temos

B) $8,0 \times 10^{-22}$. D) $8,0 \times 10^{-18}$. que $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Durante uma experiência no

laboratório, tem-se uma carga elétrica puntiforme fixa (Q)

09. (PUC Minas / Adaptado) A energia potencial elétrica de $3,0 \text{ nC}$ ($3,0 \times 10^{-9} \text{ C}$), praticamente no vácuo

existente entre duas cargas puntiformes separadas por ($K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$), e, num determinado instante, o

certa distância ficará inalterada se um pósitron ($q = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$) é abandonado do repouso

num ponto A, distante $3,0 \text{ mm}$ dessa carga Q. Ao passar

A) as cargas forem mantidas e a distância dividida por

B) cada carga for dobrada e a distância também. **FÍSICA** A) $4,5 \text{ keV}$. dois. reta QA, o pósitron terá energia cinética de por um ponto B, situado a $6,0 \text{ mm}$ de A, sobre a mesma

C) $9,0 \text{ keV}$. E) $6,0 \text{ MeV}$.

C) uma das cargas for dobrada e a distância multiplicada

B) $6,0 \text{ keV}$. D) $4,5 \text{ MeV}$.

por quatro.

D) cada carga for quadruplicada e a distância dividida **14.** (UFRRJ-2007) Uma carga elétrica $q = 1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$

por dois. se movimenta em uma região onde existe um campo

E) cada carga for dobrada e a distância multiplicada por eletrostático uniforme. Essa carga parte de um ponto A,

quatro. cujo potencial elétrico é $V = 2 \text{ V}$, e caminha pelo percurso (I) A

até um ponto B, onde o potencial elétrico é $V_B = 4 \text{ V}$.

10. B (UNESP-2008) A figura é a interseção de um plano com o centro C de um condutor esférico e com três superfícies I

equipotenciais ao redor desse condutor.

A) **CALCULE** o trabalho realizado pela força elétrica que N atua sobre a carga ao longo do deslocamento de A a B.

B) Supondo que a carga retorne ao ponto A pelo M caminho (II), **DETERMINE** o trabalho total realizado 10 V pela força elétrica ao longo do percurso de ida e volta, 5 V (I) + (II).

2,5 V 15. (UFPE–2008) Duas cargas elétricas puntiformes, de mesmo módulo Q e sinais opostos, acham-se fixas à

Uma carga de $1,6 \times 10^{-19}$ C é levada do ponto M ao distância de 3,0 cm entre si. **DETERMINE** o potencial

ponto N. O trabalho realizado para deslocar essa carga elétrico no ponto A, em volts, considerando que o

foi de potencial no ponto B é de 60 volts.

A) $3,2 \times 10^{-20}$ J. D) $4,0 \times 10^{-19}$ J. 1,0 cm 1,0 cm

B) $16,0 \times 10^{-19}$ J. E) $3,2 \times 10^{-18}$ J.

C) $8,0 \times 10^{-19}$ A + Q B –Q J.

Editora Bernoulli **79**

Frente D Módulo 04

SEÇÃO ENEM + + + + + Ionosfera + +

01. + _ _ + _ _ Um raio ou relâmpago é uma descarga elétrica entre nuvens + _ + _

de chuva ou entre essas nuvens e a terra. A descarga _

+ _ _ _ +

é visível a olho nu e apresenta formas e ramificações _ + + _ _ _ _ + sinuosas. Existem três tipos de raios: da nuvem para +

o solo, do solo para a nuvem e entre nuvens. Um raio + +

principia quando o campo elétrico atinge $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$, + + + + +

valor conhecido como rigidez dielétrica do ar. Nesse Embora o campo elétrico terrestre enfraqueça com a

momento, a voltagem inicial entre as partes envolvidas altitude, uma primeira aproximação seria considerá-lo

atinge valores muito elevados. constante. Sabendo que a distribuição de cargas da

Disponível em: ionosfera está a 50 km da superfície da Terra, uma usina

Acesso em: 10 dez. 2010. (Adaptação). de eletricidade que se valesse da diferença de potencial

elétrico entre a superfície e a ionosfera poderia gerar

Sobre as voltagens nos três tipos de raios citados, marque uma potência de

a afirmativa correta. A) 50 MW. D) 5 000 MW.

A) Em um raio entre o solo e uma nuvem de altitude

B) 500 MW. E) 10 000 MW.

1 km, a voltagem inicial é da ordem de milhões de

C) 1 000 MW.

volts.

B) Em um raio da nuvem para o solo, a voltagem inicial

é maior que aquela em um raio do solo para a nuvem.

GABARITO

C) Em todo raio, a voltagem entre as partes envolvidas

aumenta progressivamente durante a ocorrência do

Fixação fenômeno.

D) Em um raio da nuvem para o solo, a voltagem inicial é 01. E

maior que aquela em um raio entre nuvens próximas.

02. D

E) Em todo raio, a voltagem entre as partes envolvidas é

igual a zero nos instantes que antecedem o fenômeno. 03. A

04. D

02. 05. A) $\Delta V_{AB} = 10 \text{ V}$, $\Delta V_{BC} = 0$ e $\Delta V_{AC} = 10 \text{ V}$ Um modelo simples da distribuição de cargas elétricas na

Terra e em sua atmosfera é mostrado na figura a seguir. B) $F_E = 1,0 \times 10^{-4} \text{ N}$ e $W = -1,0 \times 10^{-5} \text{ J}$

Perto da superfície terrestre, existe um campo elétrico

radial para baixo, de aproximadamente 100 V/m , devido **Propostos**

ao fato de a superfície ter cargas negativas e a ionosfera

ter cargas positivas. Como a atmosfera não é um isolante 01. A

perfeito, ela é atravessada por um fluxo de íons positivos 02. B

para baixo e por um fluxo de íons negativos para cima. 03. A

Apenas 5 minutos seria o intervalo de tempo necessário 04. V F F F F

para neutralizar toda a carga superficial do planeta, que

é cerca de $3,0 \times 10 \text{ C}$, caso essa não fosse recomposta 5 05. Soma = 17

de alguma forma. A carga, no entanto, permanece 06. Soma = 54

constante, levando a crer que exista um mecanismo de 07. E

bombeamento de cargas positivas para cima e de cargas 08. E

negativas para baixo, em um sentido oposto ao das forças 09. E
eletrostáticas exercidas pelo campo elétrico. A natureza 10. C
desse mecanismo não é bem conhecida, mas acredita-se

11. A

que o processo deva sofrer forte influência das constantes
tempestades que se espalham pelo planeta. De algum 12. C
modo, formam-se íons positivos e negativos durante uma 13. B
tempestade, sendo os íons positivos conduzidos para 14. A) $-2,0 \times 10^{-6} \text{ J}$
cima e os negativos, para baixo, por meio de correntes B) 0

de ar. Essas correntes são impulsionadas pelas diferenças 15. $V_A = 90$ volts de
temperatura e pressão, de modo que, no final das

contas, é a energia radiante do Sol
que promove todo Seção Enem esse
movimento.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. *Física*. Tradução de José Accioli. 01. D 02. D

Rio de Janeiro: LTC, 1981. p. 514. (Adaptação).

80 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Condutores 05 D

volta de uma carga elétrica (a fonte). Vimos que o campo Estudamos o
campo e o potencial elétrico criados em ----- está relacionado com
a força elétrica, enquanto o potencial -- está relacionado com a
energia que essa carga transmite -- para uma carga situada à sua volta
(a carga de prova).

Nos módulos anteriores, discorreremos um pouco sobre

os condutores de eletricidade. Aqui, os conceitos e as expressões matemáticas de campo e potencial elétrico que aprendemos serão úteis para estudarmos os condutores mais detalhadamente. Mesmo quando neutro, um condutor dispõe de cargas elétricas livres (ou pouco ligadas à rede metálica) capazes de fluir facilmente através do seu interior, quando *Figura 1: A carga elétrica de um condutor se distribui sobre a sua superfície externa.* um campo elétrico estiver agindo sobre elas.

Iniciaremos o estudo sobre os condutores discutindo Durante o processo de eletrização da esfera, o movimento a condição de equilíbrio eletrostático de um condutor. de elétrons em sua superfície ocorre muito rapidamente.

A seguir, veremos que, para essa condição, o campo elétrico

Quase que imediatamente após a interrupção do atrito do no interior de qualquer condutor eletrizado vale zero.

tecido contra a esfera, os elétrons em excesso já ficam Isso nos levará à discussão de um fenômeno elétrico muito posicionados, uniformemente distribuídos na superfície da importante, conhecido como blindagem eletrostática.

esfera, de modo que não há movimento ordenado de cargas. Na segunda parte deste módulo, estudaremos o potencial

Nesse estado, dizemos que o condutor está em equilíbrio elétrico de condutores em equilíbrio eletrostático. Ao longo eletrostático.

do texto, expressões para calcular o campo e o potencial elétrico criados por condutores esféricos serão apresentadas. Se a esfera da figura 1 tivesse sido atritada contra outro

Essas expressões nos ajudarão a quantificar o fenômeno material, de modo que a região friccionada ficasse com uma

da ruptura da rigidez dielétrica nas proximidades dessa carga positiva, a redistribuição dessa carga pela superfície

condutores. da esfera aconteceria da mesma forma. Nesse caso,

a carga positiva presente no local da fricção atrairia elétrons

O EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO

das outras partes da esfera. O equilíbrio eletrostático seria

atingido rapidamente, de forma bastante semelhante ao

caso anterior.

Considere que uma esfera condutora tenha sido eletrizada

negativamente pelo atrito com um tecido. A figura 1 mostra No caso de condutores não esféricos, a carga elétrica

essa esfera. A carga negativa que ela adquiriu não flui também se distribui em sua superfície externa, porém, não

através do bastão e do corpo da pessoa, porque o bastão uniformemente. Nas partes com menor raio de curvatura,

é feito de um material isolante. Durante essa eletrização, como as pontas, observamos uma maior concentração

os elétrons transferidos do tecido para a esfera sofrem de carga elétrica. Por isso, o campo elétrico no meio que

repulsão elétrica entre si, e ocorre uma movimentação de envolve o condutor é mais intenso nas vizinhanças de

elétrons na superfície do condutor. Nesse local, os elétrons pontas. A figura 2 mostra um condutor anesférico eletrizado

em excesso ficam o mais distante possível uns dos outros. positivamente. As linhas mostradas na figura são as linhas

Como você sabe, esse deslocamento interno de cargas é de força do campo elétrico do condutor. Observe a maior

possível porque a esfera é condutora. Se ela fosse feita de densidade

de cargas na ponta esquerda do condutor e a um material isolante, como o vidro, a carga negativa ficaria maior intensidade do campo elétrico (maior concentração concentrada na região friccionada. de linhas) presente no ar próximo desse local.

Frente D Módulo 05

Para a condição de equilíbrio eletrostático, o campo elétrico na superfície externa do condutor existe, mas a sua direção é perpendicular à superfície. Isso pode ser observado ao longo de toda a superfície do condutor mostrado na figura 2. Como as cargas da superfície não se movimentam ordenadamente,

+ + + + o campo elétrico não pode apresentar uma componente
+ + + + tangencial. Se esta existisse, ela causaria o
aparecimento + +

+ + de uma força elétrica tangencial
sobre as cargas, que se + + + + + +
moveriam sobre a superfície do
condutor, contrariando a + + + + +
situação de equilíbrio eletrostático.



A figura 3 mostra a tendência de movimento de um elétron livre na superfície externa de um condutor, que acaba de ser eletrizado, durante o rearranjo de suas cargas. Nesse caso, a direção do campo elétrico é inclinada em relação à superfície. A componente tangencial do campo existe

Figura 2: Distribuição não uniforme da carga elétrica sobre a

superfície de um condutor anesférico. apenas durante o curto intervalo de tempo que precede

o equilíbrio eletrostático. Observe que o lado esquerdo do

O comportamento dos condutores de concentrar cargas

condutor possui uma carga positiva maior que o lado direito. nas pontas é conhecido como o **poder das pontas**.

Como as curvaturas dos dois lados são parecidas, existe um

O princípio de funcionamento de um para-raios baseia-se

desequilíbrio. Por isso, os elétrons se movimentam para a no poder das pontas. Um para-raios é uma haste metálica aterrada na base e com pontas na extremidade superior. esquerda.

o para-raios foi instalado, o campo elétrico entre a nuvem elétron livre Quando uma nuvem eletrizada passa perto do local onde Força sobre um Campo

elétrico

e a terra torna-se mais intenso em torno das pontas

do para-raios. Por isso, a probabilidade de a rigidez dielétrica

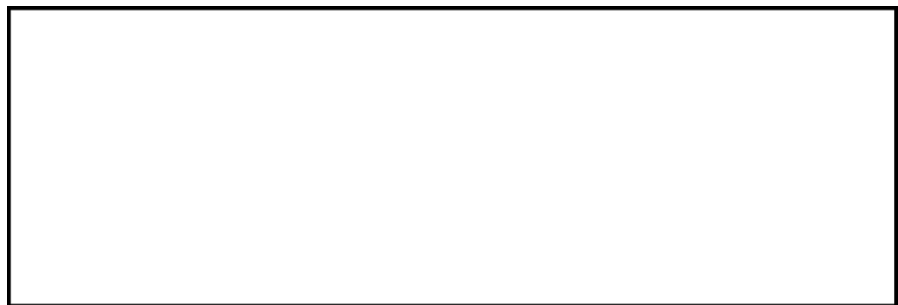
do ar ser rompida perto dessas pontas e de a descarga + + + + + + + + elétrica ocorrer entre a nuvem e o para-raios é maior do + + + + que em outros locais. + +

A seguir, vamos aprender a calcular o campo e o potencial

elétrico em um condutor em equilíbrio eletrostático. *Figura 3: Movimento de cargas na superfície de um condutor*

Antes, destacamos o seguinte resumo desta seção: *que não se acha em equilíbrio eletrostático.*

É óbvio que, em volta de um condutor eletrizado,



Um condutor está em equilíbrio eletrostático quando nele mesmo para a condição de equilíbrio eletrostático, existe

não ocorre mais o movimento ordenado de suas cargas campo elétrico, pois qualquer carga de prova ali colocada

livres. Nessa condição, a repulsão elétrica leva a uma experimentará a ação de uma força elétrica exercida pelo

distribuição de cargas na superfície externa do condutor, condutor. Isso pode ser constatado por meio de experiências

com uma maior concentração de cargas nas regiões de simples, como ilustra a figura 4. As setas em vermelho

menor raio de curvatura, como as pontas. indicam os sentidos do campo elétrico da esfera maior.

Como a carga desta é positiva, o campo elétrico criado por

O CAMPO ELÉTRICO DE UM ela diverge
a partir da sua superfície. As duas pequenas

esferas, também eletrizadas positivamente, sofrem forças

CONDUTOR EM EQUILÍBRIO no mesmo

sentido do campo elétrico.

ELETRÓSTÁTICO

Nesta seção, vamos analisar o campo elétrico gerado por um condutor eletrizado. Primeiro, vamos analisar o campo elétrico no interior do condutor. Estando em equilíbrio eletrostático, as cargas livres do condutor não se deslocam ordenadamente em uma direção. Por isso, concluímos que o campo elétrico, no interior do condutor, é nulo. Se houvesse campo elétrico interno, as cargas livres sofreriam a ação de forças elétricas e se movimentariam ordenadamente numa certa direção.

82 Coleção Estudo

Condutores

CAMPO ELÉTRICO DE UMA ESFERA ELETRIZADA pode receber sem que o ar próximo à sua superfície tenha sua rigidez dielétrica rompida. Essa carga, naturalmente,

ESFERA ELETRIZADA depende do raio da esfera, mas não do seu material.

Para uma esfera de raio $R = 10\text{ cm}$, imersa no ar, a carga máxima vale:
Agora, vamos aprender a calcular o campo elétrico no máximo vale:

exterior de uma esfera condutora. Já vimos que o campo $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$ é máximo na superfície. Rigidez dielétrica = interno em qualquer condutor em equilíbrio eletrostático

vale zero. No caso de uma esfera, pouco importa se ela é maciça ou se é simplesmente uma casca esférica; o campo interno vale zero. Para todas essas geometrias,

a carga acha-se uniformemente distribuída na superfície. $Q = 4\pi R^2 \sigma$

O campo externo de uma esfera condutora, com carga

superficial Q , apresenta uma simetria idêntica àquela do campo de uma carga pontual Q , localizada no centro da esfera. Por isso, o campo externo de uma esfera eletrizada

pode ser calculado como se toda a sua carga estivesse concentrada em seu centro. Matematicamente, temos: eletrizado, em equilíbrio eletrostático, é nulo. Agora, vamos



examinar o caso em que o condutor está neutro, mas próximo

a uma carga elétrica externa. Veremos que o campo elétrico $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

de

desta carga se manifesta em todos os pontos do espaço em sua volta, exceto naqueles que estão dentro do condutor.

Nessa expressão, Q é a carga da esfera, K é a constante

O interior de um condutor é um lugar onde o campo elétrico eletrostática do meio dielétrico onde a esfera se acha,

de um agente externo não consegue entrar. Esse efeito é e r é a distância do centro da esfera até o ponto onde

conhecido como **blindagem eletrostática**.

desejamos calcular o campo elétrico. Em hipótese alguma

essa expressão pode ser usada para $r < R$ (sendo R o raio A figura 6 ilustra a blindagem eletrostática. Na figura A,

esfera, local em que o campo é nulo. eletrizada negativamente ou mesmo neutra. Neste último **FÍSICA** da esfera), pois o ponto, nesse caso, encontra-se dentro da um bastão de vidro eletrizado positivamente atrai uma esfera

caso, uma carga negativa e outra positiva são induzidas

A figura 5 mostra o gráfico do campo elétrico criado por no lado direito e esquerdo da esfera, respectivamente.

uma esfera condutora em função da distância ao seu centro. O campo não uniforme do bastão atrai mais intensamente

Observe que o campo interno é zero, e que o campo externo a carga negativa do que repele a positiva e, assim, a esfera

obedece à lei do inverso do quadrado da distância, típica é atraída pelo bastão. para uma carga pontual.

Na figura B, a esfera foi coberta com uma gaiola metálica.

E O campo elétrico do bastão se manifesta em torno da gaiola, mas não dentro dela. O campo elétrico do bastão no E interior da gaiola vale zero. Por isso, a esfera não é atraída.

De fato, isso só seria estritamente verdadeiro se a gaiola fosse fechada por um fundo condutor. Todavia, mesmo com

o fundo aberto, a blindagem da gaiola é quase total.

$$E = \frac{2 K Q}{r^2}$$

A)

$$E/4 + E/9 + \dots$$

$$R = 2R = 3R = r$$

Figura 5: Campo elétrico de uma esfera condutora, em função

B)

da distância ao centro.

No estudo sobre campo elétrico, aprendemos que a rigidez dielétrica corresponde ao maior valor do campo elétrico que pode ser aplicado a um isolante, sem que ele se torne condutor. Para o ar, esse valor é $3,0 \times 10^6$ N/C. Assim, usando

a expressão para o cálculo do campo elétrico de uma esfera

condutora, podemos determinar a carga máxima que a esfera *Figura 6: Experiência para constatar a blindagem eletrostática.*

Editora Bernoulli 83

Frente D Módulo 05

Benjamin Franklin e, depois, Michael Faraday foram os **Resolução:**

primeiros cientistas a estudarem a blindagem eletrostática. A força de atração da carga pontual $+q$ sobre os elétrons

Em particular, Faraday realizou uma célebre experiência. Ele livres da casca metálica causa a indução de uma carga

construiu uma grande caixa, revestida de metal e apoiada negativa na parte interna da casca e de uma carga

sobre isolantes, e a eletrizou com o auxílio de um potente positiva na parte externa. Em geral, a carga induzida

gerador eletrostático, até que grandes faíscas saltaram de não é igual à carga indutora (normalmente, a primeira é

suas paredes externas. Nessas condições, Faraday entrou menor). Nesse problema, essas cargas são iguais porque

na caixa e realizou uma série de experimentos (ele usou o número de linhas de força que sai da carga pontual $+q$

velas acesas, eletroscópios, etc.), não encontrando o é exatamente igual ao número de linhas que chega à

menor vestígio da influência do campo elétrico gerado pelas carga induzida distribuída na parte interna da casca.

cargas das paredes externas da caixa. Por isso, atualmente, Isso ocorre porque as linhas que partem da carga pontual

os invólucros metálicos usados para produzir blindagem não podem chegar a outro lugar que não seja a parte

eletrostática são popularmente conhecidos como **gaiolas** interna da casca (observe a figura). Por sua vez, como a

de Faraday. carga induzida na parte interna vale $-q$, a carga induzida

Agora, vamos entender por que o campo elétrico de uma externamente vale $+q$.

carga externa não penetra no interior de um condutor. Para E isso, vamos considerar que a carga externa é uma placa

eletrizada positivamente, de modo que o campo elétrico

da placa seja uniforme. As linhas de força, paralelas entre

uma esfera condutora seja imersa nessas linhas, como KQ $E = r$ si, saem da placa e vão para o infinito. Então, imagine que mostra a figura 7. Note que uma carga negativa é induzida z no lado esquerdo da esfera, enquanto uma carga positiva

é induzida no outro lado. Como a esfera encontra-se em

equilíbrio eletrostático (lembre-se de que a separação de

cargas na esfera ocorre quase instantaneamente após a

sua introdução no campo elétrico da placa), não há mais

a b r

movimento ordenado de elétrons livres em seu interior.

Concluimos, portanto, que o campo elétrico em seu interior vale zero. Observe que as linhas de força são perpendiculares

de campo, e a carga induzida permanece estacionária. + à superfície da esfera. Assim, não há componente tangencial + + q +

+ -- + + -q --

--

+ q + -- + E + + + -- + + --

+ - + E = 0 + + ---- + + + + + +

+

Figura 7: O campo elétrico da placa não penetra no interior da Agora, vamos determinar o campo elétrico dessa

esfera condutora. distribuição de cargas. Como a esfera se encontra em

Podemos usar outro argumento para analisar o campo equilíbrio eletrostático, os seus elétrons livres não se

elétrico dentro dessa esfera. A carga da placa produz um movimentam ordenadamente. Portanto, o campo na

campo elétrico uniforme, horizontal e dirigido para a direita parte metálica é nulo (observe que as linhas de força

na região da esfera. Por sua vez, a carga induzida na esfera são interrompidas nessa região). Na parte oca e na parte

cria um campo elétrico interno horizontal e dirigido para externa, existe campo elétrico. Por simetria, os campos

a esquerda. Os campos da placa e da esfera apresentam elétricos das cargas +q e -q induzidas na casca são iguais

módulos iguais e se cancelam. Por isso, o campo resultante em módulo e de sentidos opostos; logo, se cancelam.

dentro da esfera vale zero. Por isso, o campo elétrico líquido do sistema é devido

apenas ao efeito da carga pontual $+q$. Esse campo pode

EXERCÍCIO RESOLVIDO ser calculado por meio da lei do inverso do quadrado da

distância:

01. $E = KQ$

Uma carga pontual $+q$ acha-se no centro de uma r_2

casca esférica metálica neutra de raio interno a e raio

externo b . Explicar por que existe uma carga induzida $-q$ Essa expressão deve ser usada para $0 < r < a$ (interior

na superfície interna da esfera e uma carga $+q$ na da casca) e para $b < r < \infty$ (exterior da casca). O gráfico

superfície externa. Determinar as expressões para do campo elétrico em função da distância à carga pontual

calcular o campo elétrico desse sistema. $+q$ está mostrado juntamente com a casca esférica.

84 Coleção Estudo

Condutores

UM CONDUTOR EM EQUILÍBRIO

assim como são iguais os potenciais de todos os outros pontos da

superfície. A igualdade do potencial de um ponto

ELÉTRICO DE de que o campo elétrico é perpendicular à superfície do condutor). Por isso, o potencial V é igual ao potencial V_{CD} ,

sobre a superfície do condutor e de outro em seu interior

(por exemplo, os pontos D e A) pode ser demonstrada da

Nos itens anteriores, aprendemos que o campo elétrico mesma forma, imaginando que a carga, agora, se desloque

dentro de um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático

entre esses pontos. Como o trabalho elétrico é zero, os

é nulo. Agora, vamos discutir o comportamento do potencial

potenciais são iguais. Portanto, um condutor eletrizado e em

elétrico dentro de um condutor nessas condições. Para isso,

equilíbrio eletrostático é um volume equipotencial.

observe a figura 8, em que uma pequena esfera de massa m

e de carga elétrica q acha-se suspensa por um fio isolante. Fora de um condutor eletrizado, o valor do potencial elétrico

no interior de uma caixa metálica eletrizada positivamente e depende da posição em que é feita a análise. Por exemplo, na

isolada, mas em equilíbrio eletrostático. Como o fio é isolante, figura 8, se uma carga positiva for abandonada no ponto E,

a carga da esfera não pode ser transferida para as paredes ela sofrerá ação de uma força elétrica dirigida para cima e se

externas da caixa através dele. moverá em direção ao ponto F. Sendo assim, o potencial do

F ponto F é menor que o do ponto E, pois o potencial diminui

E no sentido das linhas de força.

[illegible]

C D pontos situados sobre uma mesma superfície equipotencial.

Agora, imagine que a esfera seja abandonada do ponto A,

que se acha a uma altura h em relação à posição mais

baixa do pêndulo. A esfera desce acelerada exclusivamente

ESFERA ELETRIZADA pelo campo gravitacional g da Terra. Nesse deslocamento,

o trabalho elétrico vale zero, pois o campo e a força elétrica

valem zero. Assim, aplicando a definição de diferença de De acordo com o que estudamos na seção anterior,

potencial elétrico, obtemos: qualquer condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático

W_{AB} apresenta o mesmo potencial elétrico em toda a extensão de

$V - V = = = 0$ seu volume, inclusive na superfície externa. A partir dessa 0

$A B$ q q superfície, o potencial varia ao longo das linhas de força

Como $V = 0$, concluímos que os valores dos potenciais do campo elétrico externo. Em particular, no caso de uma $A - V_B$

elétricos nos pontos A e B são iguais. Na verdade, todos os esfera condutora eletrizada com uma carga Q , esse potencial

pontos dentro de um condutor eletrizado e em equilíbrio pode ser calculado pela lei do inverso da distância, como

eletrostático são submetidos a um mesmo potencial elétrico. se a carga Q estivesse concentrada no centro da esfera.

No condutor da figura 8, entendemos por pontos internos Utilizamos o mesmo recurso para calcular o campo elétrico

também os pontos situados na parte maciça. casos: uma esfera com carga superficial uniformemente distribuída apresenta simetria espacial idêntica à de uma Os pontos sobre a superfície de um condutor eletrizado não apenas aqueles que estão na parte oca da caixa, mas de uma esfera, e a mesma justificativa é válida nos dois

carga pontual. Portanto, o potencial elétrico de uma esfera

e em equilíbrio eletrostático também apresentam o mesmo condutora de raio R e de carga Q , em equilíbrio eletrostático

potencial elétrico dos pontos internos. Primeiro, vamos (considerando o infinito como o nível de potencial elétrico

explicar a igualdade dos potenciais dos pontos da superfície. igual a zero), é dado por: Considere que uma carga se desloque do ponto C ao ponto D,



agindo na carga, mas ela não realiza trabalho porque a $KQ \leq$ mostrados na figura 8. Nesse caso, há uma força elétrica sua direção é perpendicular ao deslocamento (lembre-se $V =$ (para: $r \leq R$) e $V =$ (para: $R \leq r \leq \infty$) R r

Editora Bernoulli 85

Frente D Módulo 05

Nessa expressão, K é a constante eletrostática do meio A) Mostrar que essa esfera condutora isolada no ar pode

onde a esfera está imersa, e r é a distância do centro receber uma carga um pouco maior que $13 \mu\text{C}$ sem da esfera ao ponto onde o potencial elétrico é calculado. risco de ruptura da rigidez dielétrica do ar. Explicar

Observe que o denominador da primeira equação é sempre por que houve a ruptura da rigidez do ar na situação

o raio R da esfera, mesmo se o potencial estiver sendo descrita nesta questão, apesar de a carga da esfera

calculado em um ponto interno, onde $r < R$. Para o caso de do gerador ser de apenas $10 \mu\text{C}$. um ponto externo, usamos a segunda equação.

A figura 9 mostra o gráfico do potencial elétrico produzido B)
 Determinar as cargas finais na esfera do gerador

por uma esfera condutora eletrizada positivamente e em e na esfera menor, depois da descarga elétrica,

equilíbrio eletrostático em função da distância ao seu centro.
 considerando que as duas esferas se toquem.

Abaixo do gráfico, aparecem a esfera e duas superfícies **Resolução:**

equipotenciais. 6 A) A rigidez dielétrica do ar vale $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$, que

E KQ representa o maior valor do campo elétrico que pode $V =$
 ser aplicado ao ar sem que ele se torne condutor. $V R$

A substituição desse valor na equação do campo

$V/2 V = KQ$ elétrico próximo à superfície da esfera fornece a
 carga r máxima que ela pode receber:

+ + $V/3 KQ$ Rigidez dielétrica = máx. $R_2 R_{2R} 3R r 9 0 , \times 10^9 . Q$
 $3,0 \times 10^6 = m \times . \hat{a} \Rightarrow 13,3 \mu C + 2 + + 0 20 , +$ Individualmente, a
 esfera do gerador não pode gerar + + + um campo maior que $3,0$
 $\times 10^6 \text{ N/C}$ no espaço entre ela + + + e a esfera menor, pois a sua
 carga é de apenas $10 \mu C$.

Todavia, há indução de uma carga negativa e outra
 positiva na esfera menor, como mostra a figura.

Por isso, essa esfera menor também produz um campo
 elétrico entre as esferas. Esse campo e o campo da

Figura 9: Potencial elétrico produzido por uma esfera condutora

esfera do gerador são dirigidos para a direita. Assim,
 em função da distância ao centro.

os campos das duas esferas são somados. Para uma

Vamos finalizar esta seção, analisando o Exercício Resolvido 01
 aproximação suficientemente pequena entre as

do ponto de vista do potencial elétrico. Na figura deste esferas, o campo
 elétrico resultante gerado por elas

problema, observe que as linhas de campo elétrico são supridas pela rigidez dielétrica do ar, dirigidas da carga $+q$ para a casca esférica. Por isso,

B) A carga da esfera maior se distribuiu entre ela e a

o potencial central é maior que o da casca esférica.

esfera menor. A troca de cargas iniciou-se no momento

Na verdade, o potencial elétrico de uma carga $+q$ é sempre

da descarga, continuou durante o contato entre as

maior do que o potencial elétrico de um condutor que o

esferas e terminou quando elas atingiram o equilíbrio

envolve (cavidade), independentemente do valor da carga $+q$.

eletrostático. Nesse instante, os potenciais elétricos

Por isso, se a carga interna for colocada em contato com a

nas duas esferas ficaram iguais, e o deslocamento de

cavidade (por exemplo, através de um fio metálico), a carga

cargas entre elas cessou. De acordo com a equação

interna será completamente transferida para a cavidade.

para se calcular o potencial ($V = KQ/R$), e sabendo

que V é constante no equilíbrio, concluímos que a

EXERCÍCIO RESOLVIDO

carga de cada esfera é diretamente proporcional ao raio. De acordo com o Princípio da Conservação das

02. Cargas, a soma das cargas finais das esferas deve

A esfera de um gerador de Van de Graaf tem raio igual a

ser $+10 \mu\text{C}$ (carga inicial do sistema). Como o raio da

20 cm. A esfera é eletrizada com uma carga igual a $+10 \mu\text{C}$,

esfera maior é 20 cm, ele é quatro vezes maior que

e o gerador é desligado. A seguir, uma esfera de raio 5,0 cm

é aproximada da esfera do gerador, e, a certa distância, que a carga final na esfera maior é $+8,0$ o raio de 5,0 cm da esfera menor. Assim, concluímos

ocorre uma descarga elétrica, como mostra a figura. e na esfera menor é $+2,0 \mu\text{C}$. Matematicamente,

$++ ++ ++ ++ ++$ chegamos a esses valores resolvendo o seguinte $++$
 $++$ sistema de equações: $-KQ ++ Kq = ++ Q + q = 10$ e 20
 0 ,

A carga final Q está associada à esfera de raio 20 cm ,
 enquanto a carga q , à esfera de raio $5,0 \text{ cm}$. Observe
 que a constante de Coulomb K pode ser cancelada na
 segunda equação. Isso mostra que as cargas finais
 independem do meio em que as esferas se encontram.

86 Coleção Estudo

Condutores

Assim, obtemos: **03.** (PUC Minas) Escolha a alternativa que contenha valores

$Q = +8,0 \mu\text{C}$ e $Q = +2,0 \mu\text{C}$ coerentes para os potenciais elétricos, numa mesma

Esse exercício ilustrou a eletrização por contato. unidade, nos pontos A, B, C e D, nessa ordem. Nesse tipo de eletrização, as cargas finais sempre
 A) $4,0$; $3,0$; $2,0$; $1,0$ apresentam sinais iguais, e a esfera maior fica com B)
 $4,8$; $4,8$; $4,0$; $3,0$

a maior quantidade de carga. C) zero; zero; $4,0$; $3,0$

D) $4,8$; $4,8$; $4,8$; $4,8$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

zero

E) zero; zero; zero;

04. (UFMG) Um estudante coloca pequenos pedaços de papel

01. (Unifor-CE) Dadas as afirmativas: sobre uma placa de isopor debaixo de uma peneira de

plástico. Ele atrita um pente em seus cabelos, aproxima-o

1. Na superfície de um condutor eletrizado e em

da peneira e repara que os papéis são atraídos pelo pente.

equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é normal à

Depois, troca a peneira de plástico por outra metálica e superfície.

repete o experimento. Observa, então, que os papéis não

2. Na superfície de um condutor eletrizado e em são atraídos pelo pente. Essa diferença é devido

equilíbrio eletrostático, o potencial é constante.

A) à eletricidade do pente ser anulada pelo magnetismo

3. Na superfície de um condutor eletrizado e em da peneira metálica.

equilíbrio eletrostático, a densidade superficial de

B) à peneira de plástico e aos pedaços de papel serem carga é maior em pontos de raio de curvatura menor.

isolantes elétricos.

Podemos afirmar que

C) à peneira de metal criar uma blindagem eletrostática.

A) somente a primeira está correta.

D) à peneira de plástico ter propriedades magnéticas.

B) somente a segunda está correta.

C) somente a terceira está correta. 05. (UFPR-2007)

D) todas estão corretas. A) Sabe-se que a rigidez dielétrica do ar numa certa

E) nenhuma delas está correta. região vale $3,0 \times 10^6$ N/C. Qual é a carga máxima

FÍSICA

que pode ser armazenada por um condutor esférico

Instrução: Texto para os exercícios **02** e **03** com raio de 30 cm colocado nessa região?

A figura a seguir representa a seção reta de uma esfera condutora, B) Supondo que o potencial elétrico a uma distância

de raio igual a 2,5 cm, carregada positivamente. A partir do centro O muito grande do condutor seja nulo, quanto vale o

da esfera, acham-se situados os pontos A, B, C e D, tais que potencial elétrico produzido por esse condutor esférico

$OA = AB = BC = CD = 1,0$ cm. na sua superfície quando ele tem a carga máxima

determinada no item anterior?

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

O A B C D

01. (FMJ-SP) Responda de acordo com o seguinte código:

I. A direção do vetor campo elétrico é normal à superfície, em cada ponto.

II. O trabalho para se mover uma carga elétrica ao longo da superfície é independente da intensidade do campo, supondo, mantido o equilíbrio eletrostático.

02. (PUC Minas) Escolha a alternativa que contenha valores III. Ela não é equipotencial.

coerentes, numa mesma unidade, para os campos Em relação à superfície de um condutor eletrizado e em

elétricos nos pontos A, B, C e D, nessa ordem. equilíbrio eletrostático, pode-se afirmar que

A) 4,0; 3,0; 2,0; 1,0 A) somente a afirmativa I é correta.

B) 16,0; 9,0; 4,0; 1,0 B) somente a afirmativa II é correta.

C) zero; zero; 3,0; 4,0 C) somente a afirmativa III é correta.

D) zero; zero; 16,0; 9,0 D) são corretas I e II.

E) 4,0; 1,0; zero; zero E) são corretas II e III.

Frente D Módulo 05

02. (UFLA-MG–2009) Considere um corpo eletrizado com carga Q no vácuo e um ponto P distante de d respectivamente, de raios R e $2R$ com cargas elétricas

nas proximidades de Q . Das afirmações a seguir, $+16Q$ e $-4Q$, estão isolados um do outro e, também, da

a **CORRETA** é:

vizinhança. Os dois condutores foram ligados um ao outro

A) No ponto P , o campo elétrico gerado por Q pode ser por um fio condutor e, em seguida, foram desligados.

positivo ou negativo, dependendo de sua carga. Após serem desligados e ficarem isolados novamente,

B) Colocando-se em P uma carga de prova pontual q , as cargas elétricas existentes nos condutores 1 e 2 serão,

a força elétrica que atua sobre ela pode ser positiva respectivamente, ou negativa, dependendo dos sinais de Q e q .

A) $-8Q$ e $+8Q$.

C) O potencial elétrico gerado por Q em P é inversamente

proporcional ao quadrado da distância d . B) $-6Q$ e $+6Q$.

D) No ponto P , o potencial elétrico gerado por Q pode C) $+4Q$ e $+8Q$.

ser positivo ou negativo, dependendo de sua carga. D) $+6Q$ e $+6Q$.

03. E) $+8Q$ e $+8Q$. (UNIFEI-MG–2007) Uma esfera condutora oca de raio R , situada no vácuo, está eletrizada com uma carga

positiva q . As intensidades do campo E e do potencial **06.** (UFMG) Atrita-se um bastão com lã, de modo que ele

elétrico U em função da distância d , medida a partir do adquire carga positiva. Aproxima-se então o bastão

centro da esfera, são de uma esfera metálica com o objetivo de induzir nela

A) E U uma separação de cargas. Essa situação é mostrada

na figura.

– +

R + + – + + – + d R d +

+ + – +

B) E U

Pode-se então afirmar que o campo elétrico no interior da esfera é

A) diferente de zero, horizontal, com sentido da direita para a esquerda.

R d R d

B) diferente de zero, horizontal, com sentido da esquerda

C) E U para a direita.

C) nulo apenas no centro.

D) nulo em todos os lugares.

07. (CESCEM-SP) Um condutor (2) com a forma indicada na

R d d R figura, inicialmente neutro, é aproximado de um condutor esférico (1) carregado positivamente, como indica a

D) E U figura.

R d R d C

04. (Unifor-CE) Uma esfera metálica, de raio 10 cm, isolada

de outros corpos, está imersa no ar e eletrizada com carga $Q = 2,0 \times 10^{-8} \text{ C}$. A constante eletrostática do ar vale $9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. Os módulos do vetor campo elétrico no equilíbrio eletrostático, e do potencial elétrico no centro da esfera, em unidades

do Sistema Internacional, valem, respectivamente, A) $V_C > V_B > V_A$.

B) zero e zero. D) $1,8 \times 10^2$ e zero. B) $V_C = V_B = V_A$.

B) zero e $1,8 \times 10^3$. E) $1,8 \times 10^3$ e $1,8 \times 10^4$. C) $V < V < V$. C B A

C) 1,8 e 18. D) $V = 0$. A

88 Coleção Estudo

Condutores

08. (PUC RS) A figura representa uma esfera condutora 2. Em seguida, enquanto o pente ainda está eletricamente

eletrizada com carga elétrica total Q em equilíbrio carregado, Rafael envolve a bolinha de isopor com

eletrostático. Dois pontos, A e B, estão posicionados sobre uma gaiola metálica, como mostrado na figura II,

a seguir, e observa o que acontece.

a superfície da esfera. A distância entre eles é igual a d .

d

A B

Figura II

RESPONDA:

Uma carga de teste ou de prova q é deslocada de A bolinha de isopor continua sendo atraída pelo pente?

A até B. O trabalho realizado sobre a mesma é igual a

A) zero. D) KQq/d .

2 **JUSTIFIQUE** sua resposta.

3. Para concluir, Rafael envolve o pente, que continua

B) Qd. E) Qq/d^2 . eletricamente carregado, com a gaiola metálica,

C) Qqd. como mostrado na Figura III, a seguir, e, novamente,

observa o que acontece.

09. (EFEI-MG) Uma pequena esfera metálica maciça é ? carregada ao potencial positivo de 1 volt e introduzida em

uma grande esfera metálica oca carregada ao potencial

de 104 volts. Se a esfera pequena é posta em contato

com a superfície interna da esfera oca,

A) uma parte da carga da esfera oca se transfere para Figura III

a esfera maciça, cujo potencial cai a zero.

RESPONDA: FÍSICA

B) uma parte da carga da esfera oca se transfere para a

esfera maciça, cujo potencial se eleva para 104 volts. Nessa situação, a bolinha de isopor é atraída pelo

pende?

C) uma parte da carga da esfera maciça se transfere

JUSTIFIQUE sua resposta.

para a esfera oca, e o potencial da esfera maciça cai

a zero. 11. (EEM-SP) Uma esfera condutora de raio $R = 5,0 \text{ cm}$

D) toda a carga da esfera maciça se transfere para a está eletrizada com uma carga $Q = 2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$. Qual o

esfera oca, e o potencial da esfera maciça fica igual potencial dessa esfera? Qual o seu novo potencial após

a 104 volts. ter sido colocada em contato e depois separada de uma

segunda esfera, de raio $R = 10 \text{ cm}$, inicialmente neutra? 2

E) Nenhuma das respostas anteriores. Dado: $1/(4\pi\epsilon_0) = 9,0 \times 10^9$ unidades SI

10. (UFMG–2010) **12.** (ITA-SP) Na figura a seguir, temos uma esfera oca de

1. Para testar as novidades que lhe foram ensinadas alumínio e na ponta do bastão, uma pequena esfera

em uma aula de Ciências, Rafael faz algumas também de alumínio. A esfera oca está neutra, e a do

experiências, a seguir descritas. bastão está eletrizado com carga (Q), positiva. Inicialmente, ele esfrega um pente de plástico em um

pedaço de flanela e pendura-o em um fio isolante.

Observa, então, que uma bolinha de isopor pendurada

próxima ao pente é atraída por ele, como mostrado

+Q

na figura I, a seguir.

Figura I

do bastão (Q). Haverá diferença entre fazer o contato

EXPLIQUE por que, nesse caso, a bolinha de isopor da esferinha externamente ou internamente com a

é atraída pelo pente. esfera oca?

Editora Bernoulli 89

Frente D Módulo 05

SEÇÃO ENEM A) não seria observada, pois o plástico, ao contrário do metal, é um ótimo isolante elétrico.

01. (Enem–2010) Duas irmãs que dividem o mesmo quarto de B) não seria observada, pois a peneira de plástico criaria

estudos combinaram de comprar duas caixas com tampas para uma blindagem eletrostática em seu interior.

guardarem seus pertences dentro de suas caixas, evitando, C) ocorreria normalmente, pois a peneira de plástico,

assim, a bagunça sobre a mesa de estudos. Uma delas diferentemente da metálica, não criaria blindagem

comprou uma metálica, e a outra, uma caixa de madeira de eletrostática.

área e espessura lateral diferentes, para facilitar a identificação. D) ocorreria normalmente, pois a peneira de plástico, Um dia as meninas foram estudar para a prova de Física e, diferentemente da metálica, não iria adquirir carga ao se acomodarem na mesa de estudos, guardaram seus elétrica. celulares ligados dentro de suas caixas. Ao longo desse E) aumentaria um pouco, uma vez que a peneira de dia, uma delas recebeu ligações telefônicas, enquanto os plástico se eletrizaria, reforçando a atração elétrica amigos da outra tentavam ligar e recebiam a mensagem de do pente. que o celular estava fora da área de cobertura ou desligado.

Para explicar essa situação, um físico deveria afirmar que

o material da caixa, cujo telefone celular não recebeu as

ligações é de GABARITO A) madeira, e o telefone não funcionava porque a

madeira não é um bom condutor de eletricidade.

B) metal, e o telefone não funcionava devido à blindagem **Fixação**

eletrostática que o metal proporcionava.

C) metal, e o telefone não funcionava porque o metal 01. D 04. C

refletia todo tipo de radiação que nele incidia. 02. D 05. A) $3,0 \times 10^{-5}$ C

D) metal, e o telefone não funcionava porque a área $5 \text{ 03. B B) } 9,0 \times 10 \text{ V}$ lateral da caixa de metal era maior.

E) madeira, e o telefone não funcionava porque a Propostos espessura desta caixa era maior que a espessura da

caixa de metal.

01. D 04. B 07. B

02. Um para-raios padrão é constituído de uma haste metálica 02. D 05. C 08. A

ligada ao solo por meio de um cabo condutor. A haste é 03. C 06. D 09. D

colocada em pontos elevados, como o topo de prédios e

10. 1. Ao atritar o pente de plástico na flanela, ele é torres de igrejas. Devido ao poder das pontas, o campo

eletrizado por atrito e estabelece ao seu redor elétrico entre uma nuvem eletrizada e a haste de um

um campo elétrico não uniforme. A bolinha de para-raios é mais intenso do que nas regiões vizinhas.

isopor, suposta inicialmente neutra, sofre um Assim, a rigidez dielétrica do ar é rompida nesse espaço,

processo de polarização e, estando em um de forma que uma descarga elétrica é direcionada para campo não uniforme, sofre ação de uma força o para-raios, sem causar danos. resultante atrativa.

raios, as pessoas 2. Não, pois, estando a bolinha envolvida por uma gaiola metálica, não haverá campo Durante uma tempestade, para se proteger da ação de

A) em carros e ônibus devem abandonar o veículo, elétrico atuando sobre ela devido à blindagem abrigando-se debaixo de árvores.

B) em locais elevados como picos e montanhas, devem Logo, a bolinha não será polarizada e, eletrostática provida pela gaiola metálica.

permanecer imóveis e em pé. portanto, não será atraída.

C) nas casas devem ficar longe das janelas e, no exterior, 3. Sim, pois o pente no interior da gaiola metálica devem procurar pontos elevados.

D) nas casas não devem usar telefones e, no exterior, gera um campo elétrico não uniforme em sua provoca a indução desta, que, por sua vez, devem evitar lugares descampados. região externa. Esse campo elétrico provoca

E) nas casas podem telefonar normalmente e, na rua, a polarização da bolinha de isopor e, sendo devem evitar o uso desses aparelhos. o campo não uniforme, exerce uma força

03. resultante atrativa sobre a bolinha. Uma experiência simples e clássica de Eletrostática 2 11. $3,6 \times 10$

pode ser realizada com material corriqueiro: papel, uma V e $1,2 \times 10^2$ V

pequena peneira de metal usada na cozinha, um pente 12. Sim. Se o contato for externo, a carga $+Q$ será

de plástico e um pedaço de lã. A experiência consiste em distribuída entre as duas esferas, de forma que

picar e espalhar pedacinhos do papel sobre uma mesa a esfera maior receberá maior parcela da carga.

e observar a atração elétrica que há entre os papéis e o Se o contato for interno, a carga $+Q$ será

pente, sendo que este deve estar previamente eletrizado completamente transferida para a esfera maior.

por atrito com a lã. Quando os papéis são cobertos com Seção Enem a peneira metálica, nota-se que a atração exercida pelo

pente sobre os papéis cessa. Ao invés de usar uma peneira

de metal, se os papéis fossem cobertos com uma peneira 01. B 02. D 03. C

de plástico, a atração sobre os papéis

90 Coleção Estudo FÍSICA MÓDULO FRENTE Corrente elétrica 06 D

O campo elétrico e a diferença de potencial elétrico são

CONCEITO FÍSICO DE

propriedades que se manifestam no espaço, capazes de

CORRENTE ELÉTRICA comandar o movimento de uma carga elétrica numa certa

direção. O movimento ordenado dessa carga constitui uma

Considere um circuito elétrico simples, constituído por uma corrente elétrica. Em geral, estamos mais acostumados

pilha seca, uma lâmpada de baixa potência e fios de ligação, com a corrente elétrica fluindo através de um fio condutor

como mostra a figura 2. Os polos de uma pilha ou de uma ligado a uma bateria ou a uma tomada de força. Porém,

bateria mantêm-se eletrizados, um positivamente e outro a corrente elétrica é qualquer fluxo ordenado de cargas.

negativamente, devido à ocorrência de reações químicas de O fluxo de íons em uma lâmpada fluorescente e o fluxo de

redução e de oxidação no interior desse dispositivo. prótons em um acelerador de partículas são exemplos de correntes elétricas. A figura 1 mostra um tipo particular de corrente elétrica, o fluxo de íons em uma descarga elétrica entre uma nuvem e a Terra.



Fluxo de

elétrons – ALCALINA +

Figura 2: Sentido do fluxo de elétrons através de um fio condutor

ligado aos polos de uma pilha simples.

Como existe uma diferença de potencial entre os polos

e Commons dessa pilha e, conseqüentemente, entre as extremidades dos

fios ligados a ela, um campo elétrico é estabelecido dentro

dos fios. As linhas de força desse campo (não desenhadas



Figura 1: Uma diferença de potencial de milhões de volts causou dirigidas do polo positivo para o polo negativo. A existência



essa corrente elétrica. desse campo não contradiz as condições de campo elétrico



Neste módulo, vamos analisar o conceito físico de corrente nulo e de potencial elétrico constante no interior de um



condutor isolado. No presente caso, os fios condutores não



elétrica, relacioná-la ao fluxo de cargas e definir a sua



estão isolados, mas sim ligados a uma pilha que impõe uma direção. Além da diferença de potencial elétrico, veremos

diferença de potencial entre as suas extremidades.

que a corrente depende também do grau de oposição que

o movimento das cargas recebe ao longo do caminho. O campo elétrico dentro do fio exerce forças elétricas

Essa oposição, chamada de resistência elétrica, depende sobre os elétrons livres no sentido oposto às linhas de força.

da geometria e do material do condutor em que flui a Por isso, na figura 2, existe um fluxo de elétrons percorrendo

corrente. Aprenderemos a calcular a resistência elétrica a o circuito externo (fios e lâmpada) no sentido do polo

partir desses parâmetros e também a relacioná-la com os negativo para o polo positivo. Esse fluxo constitui uma

valores da diferença de potencial eléctrico e da corrente. Na corrente eléctrica, sustentada pela diferença de potencial

sequência, estudaremos a Lei de Ohm. Esse importante que existe entre os polos da pilha.

princípio será a base para resolvermos muitos problemas No interior da pilha, íons negativos (ânions) de uma mistura

sobre circuitos eléctricos. Por fim, abordaremos os aspectos eletrolítica movem-se do polo positivo para o polo negativo

energéticos relacionados à corrente eléctrica. Discutiremos da pilha, enquanto íons positivos (cátions) movem-se

a transformação da energia eléctrica em outras formas no sentido inverso. Esses movimentos não ocorrem de modo

de energia e deduziremos expressões matemáticas para natural, como acontece com o movimento dos elétrons livres

calcular o consumo de energia em aparelhos eléctricos, como no circuito externo. A energia química da pilha é usada para

lâmpadas, rádios e chuveiros. movimentar esses íons no interior desta.

Editora Bernoulli 91

Frente D Módulo 06

Uma corrente eléctrica precisa de uma diferença de potencial com pregos. Da mesma forma que o campo gravitacional

para ser sustentada. Pilhas, baterias e tomadas de energia não acelera a bolinha de gude, o campo eléctrico também

são fontes capazes de manter uma corrente circulando por não acelera os elétrons livres de um condutor. A energia

fios ligados entre os seus terminais. A descarga eléctrica potencial gravitacional é usada para aquecer a tábua,

mostrada na figura 1 não é uma corrente sustentada. os pregos e a bolinha de gude. No fio, a energia eléctrica é

No início, há uma diferença de potencial elétrico, entre a usada para aquecer a massa do condutor. nuvem e a Terra, capaz de vencer a rigidez dielétrica do ar.

Se a velocidade de migração dos elétrons em um condutor Pouco tempo depois do início da descarga, os potenciais da

é baixa, então por que uma lâmpada começa a brilhar assim nuvem e da Terra possuem valores próximos, a intensidade

que o interruptor de luz é ligado? Para a lâmpada brilhar, do campo elétrico diminui, e o ar volta a se comportar como não é preciso esperar que os elétrons livres situados antes

um isolante elétrico. do interruptor comecem a se mover e, depois de algum

Quanto maior for a diferença de potencial elétrico de uma tempo, cheguem até a lâmpada. Quando o interruptor é

fonte, maior será a corrente elétrica que passará por um ligado, um campo elétrico é estabelecido no interior dos fios

fio condutor a ela conectado. Todavia, uma diferença de quase que instantaneamente. As linhas de força do campo

elétrico aparecem ao longo de toda a extensão dos fios, potencial elevada não deve ser confundida com um potencial

não importando se esses são curtos ou longos. Os elétrons elétrico elevado. De fato, um potencial isolado não pode

próximos à lâmpada, e até os próprios elétrons do filamento, gerar uma corrente elétrica. O passarinho, na figura 3, não

respondem imediatamente à ação do campo elétrico assim corre risco de ser eletrocutado, apesar de estar pousado

que o interruptor é acionado, e, por esse motivo, a lâmpada em um fio de + 1 000 V. Um choque elétrico requer uma

começa a brilhar assim que o interruptor de luz é ligado.

diferença de potencial elétrico entre uma parte e outra do

corpo. Na figura 3, não existe essa diferença de potencial

SENTIDO DA CORRENTE entre os pés do passarinho.

ELÉTRICA

A figura 4 mostra outro exemplo de corrente elétrica. Uma + 2 000 V lâmpada fluorescente tem os seus terminais ligados a uma diferença de potencial elétrico. O campo elétrico no interior + 1 000 V da lâmpada é voltado para a esquerda. O gás ionizado no interior da lâmpada é constituído por íons de carga + q e - q.

Os íons positivos se deslocam em direção ao eletrodo esquerdo da lâmpada, que apresenta um potencial elétrico

Figura 3: O passarinho pode pousar sem risco sobre um dos fios menor que o do eletrodo direito. Naturalmente, os íons

elétricos, mas não pode tocar simultaneamente os dois. negativos se movem no sentido oposto.

RAPIDEZ DA CORRENTE Eletrodo de Eletrodo de Vidro potencial maior potencial menor Gás

ELÉTRICA + q -q

Na ausência de campo elétrico interno, o movimento +

Voltagem

dos elétrons livres em um fio condutor é semelhante ao

movimento das moléculas de um gás em um recipiente. *Figura 4: Corrente em uma lâmpada fluorescente.* Os elétrons livres movem-se ao acaso, com velocidades

A corrente na lâmpada é causada pelo movimento de íons elevadas. Todavia, essas partículas sofrem colisões contra os

positivos e negativos. Como o sentido do movimento dos íons íons fixos do condutor, e a velocidade efetiva das partículas

positivos é oposto ao dos íons negativos, a seguinte pergunta é nula. Quando um campo elétrico é aplicado ao condutor,

aparece: qual é o sentido da corrente elétrica? Observações os elétrons livres sofrem a ação de uma força em sentido oposto

experimentais de fenômenos elétricos e eletromagnéticos ao desse campo. Embora as colisões contra a rede atômica

revelam que o movimento de uma carga elétrica em um continuum ocorrendo, os elétrons adquirem uma pequena

sentido é, com raras exceções, equivalente ao movimento velocidade de migração no sentido oposto ao do campo.

de uma carga de sinal oposto e de mesmo módulo se

Por causa das colisões contra os íons fixos, o campo movimentando em sentido contrário. Isso significa que,

elétrico interno não imprime, em média, nenhuma aceleração na figura 4, os íons de carga $-q$, movendo-se para a direita,

aos elétrons livres de um condutor. O movimento efetivo podem ser substituídos por íons de carga $+q$, movendo-se

dos elétrons ocorre de forma lenta, parecido com a descida para a esquerda. Nesse caso, o sentido da corrente elétrica

de uma bolinha de gude em uma tábua inclinada, cravada é da direita para a esquerda.

Corrente elétrica

Os físicos convencionaram que o sentido da corrente Agora, considere que N elétrons atravessem, em um

elétrica é o mesmo sentido do fluxo de cargas positivas, intervalo de tempo Δt , a seção reta mostrada na figura 5. não importando se os portadores de cargas são realmente A carga total desses elétrons é o produto entre N e a carga

cargas positivas, negativas ou ambas. Em um acelerador de elementar $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C. No intervalo de tempo citado, partículas, que produz um feixe de prótons, o sentido da a intensidade média da corrente elétrica na seção reta é

corrente elétrica é o mesmo sentido do movimento dos prótons.

definida pela seguinte razão:

Em um condutor metálico, como os fios da figura 2, o sentido da

Em uma solução iônica, o sentido da corrente é o mesmo $Q = I \Delta t$ = = média corrente elétrica é oposto ao sentido do movimento dos elétrons. sentido do movimento dos cátions e oposto ao sentido Δt Δt

do movimento dos ânions. Como a corrente elétrica

A unidade de corrente elétrica, no Sistema Internacional convencional é definida pelo movimento de cargas positivas, o sentido dessa corrente é o mesmo sentido do campo de Unidades, é: elétrico que a produz. coulomb Unidade de corrente = = ampère (A) segundo

A seguir, vamos quantificar a corrente elétrica. Antes, destacamos os seguintes fundamentos vistos até aqui: A equação da corrente é semelhante às outras equações de

taxas que aprendemos na Física. A mais familiar, certamente,



é a definição da velocidade média (razão entre a distância percorrida e o intervalo de tempo). Se um ônibus vai do

A corrente elétrica é um fluxo de cargas gerado por um

Rio de Janeiro a São Paulo com uma velocidade média de campo elétrico. Tanto o fluxo de cargas negativas em 40 km/h, significa que ele percorre, em média, 40 km a

um sentido quanto o fluxo de cargas positivas no sentido cada hora de viagem. Semelhantemente, se uma pessoa

oposto contribuem para uma corrente elétrica no mesmo toma um banho e a corrente média no chuveiro é 40 A

sentido. Convencionalmente, o sentido da corrente é (40 C/s), significa que, em média, 40 C de carga atravessam

aquele do fluxo de cargas positivas. Esse sentido é o o chuveiro por segundo.

mesmo do campo elétrico gerador da corrente elétrica. A área sob a curva do gráfico da velocidade em função

do tempo fornece a distância percorrida. Semelhantemente,

partir da área sob a curva do gráfico da corrente em função do

DEFINIÇÃO MATEMÁTICA DA FÍSICA

podemos calcular a carga que atravessa um circuito elétrico a

tempo. A figura 6 ilustra, por exemplo, a corrente em função

CORRENTE ELÉTRICA do tempo durante o processo de carregamento do *flash* em uma máquina fotográfica. À medida que a carga é transferida

da bateria da máquina para o *flash*, a corrente diminui de

A figura 5 mostra a seção transversal de um condutor

valor. A área sob a curva do gráfico é numericamente igual metálico percorrido por uma corrente elétrica de intensidade I . à carga acumulada no *flash*. As pequenas esferas representam elétrons livres. Observe que

o sentido da corrente é oposto ao movimento de migração dos elétrons. A intensidade da corrente elétrica é definida como a taxa do fluxo de carga através de uma área perpendicular à trajetória do movimento dessas cargas. Assim, quanto maior for o número de elétrons que atravessam a seção transversal de um condutor num dado tempo, maior será a intensidade Corrente elétrica da corrente elétrica nesse condutor.

Carga

Tempo

Figura 6: A área sob a curva do gráfico da corrente em função

I do tempo fornece a carga que atravessa o circuito.



MEDIÇÃO E CARÁTER ESCALAR



DA CORRENTE

O valor de uma corrente elétrica pode ser medido por meio de um amperímetro. Por ora, pouco importa saber detalhes

Figura 5: Nos metais, o sentido convencional da corrente elétrica sobre esse instrumento, exceto que ele, ao ser inserido

é oposto ao movimento dos elétrons livres. no fio em que passa uma corrente, é capaz de registrar

Editora Bernoulli 93

Frente D Módulo 06

o valor dessa corrente. A figura 7 mostra um multímetro,

CORRENTE ALTERNADA instrumento capaz de medir não apenas a corrente, como

também a tensão e a resistência elétrica. Dependendo da

Um condutor é percorrido por uma corrente contínua (CC)

posição da chave seletora e dos terminais em que os fios quando o fluxo de cargas, através desse condutor, não sofre

do circuito são conectados, a tela do multímetro fornece o variações de sentido, desde que a fonte de tensão não seja

valor da corrente, da voltagem ou da resistência elétrica. alterada.

Pilhas e baterias apresentam as polaridades fixas e,

por isso, geram correntes contínuas. Quando a fonte de



tensão apresenta uma inversão de polaridade, a corrente gerada é alternada (CA). Nesse caso, as cargas livres nos fios condutores ora se movem em um sentido, ora se movem em sentido oposto.

Em uma tomada elétrica, a corrente gerada é alternada.

Um tipo simples de tomada possui dois terminais, o neutro e a fase. O neutro, como sugere o nome, é um terminal não

eletrizado. A fase é um terminal eletrizado ora positivamente, ora negativamente. No Brasil, a rede elétrica apresenta uma alternância da fase igual a 60 vezes por segundo (frequência de 60 Hz), e as tomadas residenciais são de 127 V ou 220 V, dependendo da região do país. Na Europa, a frequência da rede elétrica é de 50 Hz, e a voltagem residencial é de 220 V.

Muitos aparelhos elétricos de sua casa podem funcionar com corrente alternada, como chuveiros, lâmpadas (de filamento

Figura 7: Um multímetro para medição da corrente, da tensão ou fluorescentes) e ventiladores. O carregador de bateria

elétrica (contínua e alternada) e da resistência. dos telefones celulares e os circuitos eletrônicos de rádios,

televisores, sons e computadores funcionam com corrente

Apesar de possuir um sentido, a corrente elétrica é uma contínua de baixa intensidade. Embora esses aparelhos sejam

grandeza escalar. Usamos setas na sua representação ligados diretamente em tomadas, eles possuem um conversor

apenas para indicar o sentido do fluxo das cargas livres. de CA em CC, que, primeiramente, abaixa a tensão, e, em

Em nenhuma situação essas setas devem ser adicionadas seguida, converte a corrente de alternada para contínua.

como vetores. Por exemplo, a figura 8 mostra um circuito em A diminuição da tensão é realizada por um transformador

que uma corrente I interno. Estudaremos o funcionamento desse equipamento = 3,0 A e outra $I = 4,0$ A percorrem 12 em outro momento. A transformação da corrente alternada fios perpendiculares entre si. Dois amperímetros registram em contínua é feita com o uso de capacitores e de diodos. esses valores (simbolizados pelos círculos com os caracteres Este é uma válvula unidirecional que permite o fluxo de cargas internos A e A). Os fios estão conectados em um

ponto P, i_2 apenas em um sentido. no qual outro fio transporta a soma dessas correntes, dada

por I A corrente alternada é usada em grande escala em quase $= 3,0 + 4,0 = 7,0$ A (e não 5,0 A, resultado que Σ todas as partes do mundo. A sua geração é feita a tensões obteríamos, erroneamente, caso fizéssemos a soma vetorial médias nas usinas de eletricidade. Na saída das usinas, das correntes I_1 e I_2). Um terceiro amperímetro A confirma $i_1 + i_2$ transformadores gigantescos elevam a tensão a milhares de o valor da corrente resultante. Esse resultado é coerente volts. Nessa condição, a energia elétrica pode ser transportada com o Princípio da Conservação da Carga Elétrica. Como não a longas distâncias, com poucas perdas por aquecimento na

há criação e nem destruição de cargas na união dos fios, fiação. Perto das cidades e próximo das casas, transformadores

a cada 1 segundo, chegam 3 C e 4 C de cargas no ponto P, reduzem a tensão para os valores residenciais. ao mesmo tempo que partem 7 C de cargas desse ponto.

O gráfico mostrado na figura 9 ilustra a variação da



tensão em uma tomada elétrica, e a corrente elétrica que



$I_1 = 3,0$ A $I_2 = 4,0$ A I flui por uma lâmpada ligada nessa tomada. Observe que a $i_1 + i_2$ tensão oscila entre os valores $+180$ V e -180 V, indicando P A_{13} que a polaridade da tomada muda constantemente.



A corrente elétrica também oscila entre valores positivos

$I = 4,0 \text{ A}$ e negativos, pois ela alterna de sentido muitas vezes por

A 2 segundo. Observe a linha horizontal pontilhada no gráfico

da tensão, indicando o valor 127 V característico de uma

tomada residencial. Esse valor é chamado de tensão eficaz,

Figura 8: A corrente elétrica é uma grandeza escalar e deve ser calculada por meio da razão entre a tensão máxima e a raiz

somada algebricamente. quadrada de 2. A tensão eficaz é uma espécie de valor médio.





Corrente elétrica

Se uma lâmpada fosse alimentada por uma tensão constante A resistência de um condutor depende, portanto, do material

de 127 V, o seu funcionamento seria praticamente igual ao do qual ele é feito e também de sua geometria. caso real, em que ela recebe a tensão alternada da tomada.

A corrente elétrica também apresenta um valor eficaz, A resistência elétrica de um condutor depende também

baseado em fundamentos semelhantes ao caso da tensão. da sua temperatura. Quando a temperatura de um condutor

Em geral, os multímetros são fabricados para medir os aumenta, a agitação atômica aumenta, favorecendo o

valores eficazes da tensão e da corrente. Como veremos na aumento do número de colisões das cargas livres contra a

sequência deste módulo, muitos problemas sobre lâmpadas rede atômica. Por isso, em geral, a capacidade de conduzir

e outros aparelhos elétricos podem ser resolvidos por meio eletricidade fica prejudicada quando um condutor é aquecido.

dos valores eficazes da corrente e da tensão alternada. O carbono é uma exceção. Quando a temperatura aumenta,

mais átomos de carbono perdem elétrons, aumentando a sua

Tensão (V)

condutividade. Como o ponto de fusão do carbono é muito

+ 180

+ 127 alto, é possível aumentar consideravelmente a condutividade

Valor eficaz

do carbono sem risco de fusão do material.

Tempo

Em temperaturas suficientemente baixas, determinados

-180

materiais, conhecidos como supercondutores, apresentam

Corrente (A) resistência elétrica nula. Isso significa que uma ínfima

1,12 voltagem é capaz de gerar correntes de grande intensidade

0,79 Valor eficaz em um supercondutor. Além disso, uma vez estabelecida a

corrente, esta fluirá indefinidamente pelo condutor, mesmo

Tempo

depois de a fonte de voltagem ser desconectada.

*Figura 9: Gráfico da tensão
alternada e da corrente alternada*
VALOR DA RESISTÊNCIA *correspondente para
uma lâmpada de 100 W.*

ELÉTRICA



A seguir, vamos quantificar a resistência elétrica de um **FÍSICA**



PARA REFLETIR



condutor. Para isso, considere o condutor de comprimento L



Quando a corrente alternada muda de sentido, e seção reta de área A mostrado na figura 10.



o seu valor se anula momentaneamente. Por



que isso não constitui um problema para os A



equipamentos alimentados por ela, como um ventilador, um chuveiro ou uma lâmpada?

CONCEITO FÍSICO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Figura 10: Condutor de seção reta A e comprimento L.

A intensidade da corrente elétrica em um condutor depende Para uma diferença de potencial aplicada entre a

da voltagem aplicada a ele e também da resistência elétrica que extremidade superior e a extremidade inferior desse

esse condutor oferece ao fluxo de cargas. A resistência elétrica condutor, a resistência elétrica R é dada por: existe porque as cargas livres em movimento chocam-se



constantemente contra a estrutura atômica do condutor.

$$R = \rho L$$

Um fio longo possui uma resistência elétrica maior que um A

fio curto feito do mesmo material e com a mesma seção reta. Nessa equação, ρ é a resistividade elétrica do material Fios finos apresentam maior resistência que fios espessos, do condutor. Materiais de baixa condutividade elétrica

feitos de mesmo material e com o mesmo comprimento. apresentam maior resistividade elétrica. Observe que a

Fios de mesmo comprimento e de mesma espessura, equação para calcular a resistência elétrica é coerente com

mas de materiais diferentes, apresentam, em geral, a discussão apresentada no tópico anterior, pois a resistência

resistências diferentes. A prata é melhor condutora que o de um condutor é proporcional ao seu comprimento e

cobre, que, por sua vez, é melhor condutor que o alumínio. inversamente proporcional à sua seção reta.

Editora Bernoulli 95

Frente D Módulo 06

No Sistema Internacional, a unidade de resistência elétrica acordo com essa definição, conclui-se que a resistência

é o ohm, cujo símbolo é a letra grega Ω . Esse nome é uma elétrica também pode ser expressa na unidade volt por

homenagem ao físico alemão George Simon Ohm, que, além ampère. Se um condutor tiver uma resistência elétrica de

da relação anterior, descobriu também uma relação simples 10Ω (10 V/A), significa que ele será percorrido por uma e fundamental entre a voltagem, a corrente e a resistência corrente de 1 A , caso seja submetido a uma tensão de 10 V .

elétrica, como veremos no próximo tópico.

A figura 11 mostra um dispositivo experimental que

em No Sistema Internacional, a resistividade elétrica é dada permite determinar a resistência R do filamento de uma $L \Omega \text{ m}$. A tabela a seguir contém a resistividade elétrica de lâmpada com a ajuda da definição anterior. A leitura do

alguns materiais à temperatura ambiente. O aço níquel-cromo voltímetro fornece a voltagem V aplicada na lâmpada, AB é usado para fabricar os fios de resistências usados, e a leitura do amperímetro fornece o valor da corrente I que por exemplo, nos chuveiros elétricos.

Observe como a passa na lâmpada. Se, por exemplo, esses valores forem

resistividade elétrica dos metais é pequena, enquanto a da iguais a 12 V e 0,40 A, então, a resistência da lâmpada será

borracha é quase infinita. Esses valores são coerentes com $R = 12/0,40 = 30 \text{ } \Omega$ o fato de os metais serem bons condutores e a borracha ser um isolante elétrico.

Amperímetro

Material Resistividade ρ (Ωm) a 20 °C

Cobre $1,7 \times 10^{-8}$

Alumínio $2,8 \times 10^{-8}$

Aço níquel-cromo 100×10^{-8}

Voltímetro

I +

Carbono 3500×10^{-8}

Borracha 10^{13} a 10^{16}

Figura 11: Montagem para determinar a resistência do filamento

Se o cilindro da figura 10 for feito de cobre e suas

dimensões forem $L = 10 \text{ cm}$ e $A = 50 \text{ cm}^2$, a sua resistência de uma lâmpada.

elétrica ao longo do comprimento será: A expressão $R = V/I$ também pode resolver problemas

envolvendo aparelhos ligados às voltagens alternadas

$R = \rho L / A = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} / 50 \text{ cm}^2$ (e não constantes). Para isso, devemos pensar nos valores $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ e $A = 50 \text{ cm}^2$

eficazes médios da voltagem e da corrente discutidos

anteriormente. Assim, por exemplo, em uma casa em que

Essa resistência é muito baixa. Ainda que os fios de a tensão elétrica vale 120 V, podemos avaliar os valores

cobre sejam mais longos e finos que esse cilindro, eles das resistências do chuveiro (R_c) e de uma lâmpada c podem apresentar uma resistência elétrica baixa. Por isso, incandescente padrão (R_L), pela equação anterior. Os valores L a resistência elétrica dos fios de ligação usados nos circuitos típicos para as correntes eficazes do chuveiro e da lâmpada elétricos é, quase sempre, desprezada. são 40 A e 0,50 A, respectivamente (justificaremos esses

valores na parte final deste módulo). Portanto, as resistências

RELAÇÃO ENTRE VOLTAGEM,

elétricas nesses elementos valem:

$$\begin{aligned} \text{CORRENTE E RESISTÊNCIA} \quad 120 \text{ V} \quad 120 \text{ V} \quad R &= \\ &= 30 \, \Omega, \text{ e } R_{240 \text{ CL}} = = \Omega \quad 40 \quad 0,50, \end{aligned}$$

ELÉTRICA

A resistência de um chuveiro é muito menor que a de uma lâmpada padrão. Isso não significa que as colisões dos

A resistência R de um condutor é definida pela relação elétrons livres contra a rede atômica do resistor do chuveiro

entre a voltagem V sejam mais escassas. Pelo contrário, a menor resistência aplicada entre as suas extremidades e AB permite que a velocidade de migração dos elétrons seja a corrente elétrica I que é estabelecida no condutor.

maior, favorecendo o aumento na taxa de colisões e na



V_{AB} energia dissipada nos impactos. Você pode fazer uma



R = analogia disso com a seguinte situação: um aluno sai de uma



I



sala repleta de carteiras espalhadas (existe muita resistência

Nessa equação, observe que a corrente aparece no pelo caminho). Se esse aluno caminhar devagar, ele passará



denominador. Assim, para uma voltagem fixa, condutores pelas carteiras sem colidir com elas. Agora, imagine a sala

de alta resistência serão percorridos por baixas correntes com poucas carteiras (pouca resistência), mas com o aluno

■

e vice-versa. Esse resultado é coerente com a ideia de que saindo correndo. Nesse caso, a chance de ele colidir contra

a resistência elétrica é um limitador da corrente. Ainda de as carteiras se torna maior.



96 Coleção Estudo





Corrente elétrica

A LEI DE OHM

ôhmico de um condutor, é essencial manter a temperatura do condutor constante. Caso contrário, a variação dessa

Além do estudo sobre a resistência elétrica apresentado temperatura alteraria a resistividade elétrica do material e,

nos tópicos anteriores, Ohm também descobriu que certos consequentemente, o valor da resistência elétrica.

condutores, sobretudo os metais, apresentam a resistência A figura 13 mostra a curva da voltagem em função

elétrica constante, independentemente da voltagem da corrente em uma lâmpada de 100 W. O filamento da

aplicada a eles. Realizando experiências com determinados lâmpada é uma liga de tungstênio que segue a Lei de Ohm.

condutores, Ohm verificou que, aplicando uma voltagem V , O comportamento não linear observado é causado pelo

o condutor era percorrido por uma corrente de intensidade I , aumento de temperatura do filamento, que ocorre à medida

se a voltagem fosse $2V$, a corrente tornava-se $2I$, que a lâmpada é submetida a voltagens maiores, e não pelo

e assim por diante. Como a razão entre a voltagem e a fato de o filamento não obedecer à Lei de Ohm.

corrente representa a resistência elétrica do condutor,

$V (V)$

Ohm concluiu que esses condutores apresentavam uma

resistência que não dependia da voltagem. Quando um material apresenta esse comportamento, dizemos que ele

obedece à Lei de Ohm. Um material que segue essa lei é chamado de condutor ôhmico.

Como $V = RI$, e como R é constante, o gráfico da voltagem i (A) 0,83 aplicada a um condutor ôhmico em função da corrente elétrica

que o atravessa é uma reta que passa pela origem. O valor *Figura 13: O filamento da lâmpada obedece à Lei de Ohm,*

constante da resistência é igual ao quociente entre voltagem *mas o seu aquecimento dificulta essa comprovação.*

e corrente para qualquer ponto da reta (como a reta passa

pela origem, esse quociente também é a inclinação da

EFEITOS FISIOLÓGICOS DA reta). A

figura 12 mostra as curvas características de dois

condutores I e II. O primeiro condutor é ôhmico e a sua

CORRENTE ELÉTRICA FÍSICA resistência vale 12Ω , como pode ser calculado facilmente.

O segundo condutor não é ôhmico. Cuidado! A inclinação Um choque elétrico é o resultado da passagem de uma

da curva característica desse condutor não fornece o valor corrente elétrica pelo corpo humano. O efeito danoso do choque

da resistência, embora R possa ser calculada para qualquer é função da intensidade da corrente, de sua duração e da parte

ponto (à exceção da origem) por meio da relação $R = V/I$. do corpo na qual ela passa. A circulação de uma corrente de

Por exemplo, para o ponto A, indicado sobre a curva, apenas 0,070 A através do coração, por mais de 1 s, pode ser

o condutor II apresenta resistência $R = 12/0,50 = 24 \Omega$. fatal. Correntes significativas podem atravessar a mão, indo de

No ponto B, apesar de a inclinação da curva ser nula, um dedo a outro, sem deixar maiores sequelas. Os seguintes

a resistência do condutor não é zero, mas sim $R = 18/1,5 = 12 \Omega$. caminhos da corrente elétrica estão na ordem crescente de

V (V) risco para o corpo: de uma mão para a própria mão, da mão
18 B direita para o pé direito, da mão esquerda para o pé esquerdo
II e de uma mão para a outra, como ilustra a figura 14.

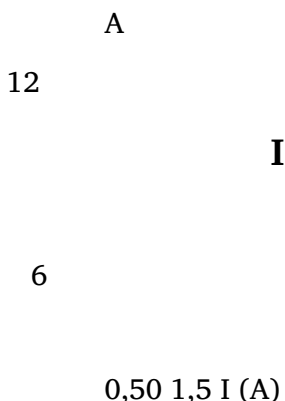


Figura 12: Curvas características, à temperatura constante,

de um condutor ôhmico (I) e um condutor não ôhmico (II).

A equação para calcular a resistência em função da

geometria e da resistividade do condutor ($R = \rho L/A$) refere-se a condutores ôhmicos, uma vez que a resistência dada por

essa expressão não leva em conta o valor da voltagem. Figura 14: Corrente de alto risco indo de uma mão a outra,

Em uma experiência para comprovar o comportamento *através do coração*.

Editora Bernoulli 97

Frente D Módulo 06

A intensidade da corrente através de um meio condutor Então, o diâmetro do fio é:

depende da voltagem e da resistência elétrica desse meio. $2 A = \pi d/4 \Rightarrow 5,0 \times 10^{-4} = 3,14.d/4$ Em geral, a resistência elétrica do corpo humano vale alguns $d = 0,025 \text{ cm} = 0,25 \text{ mm}$ milhares de ohms, desde que a pele esteja bem seca.

Se o corpo estiver muito suado, a resistência pode cair para Imerso em água, o calor gerado no fio é facilmente

poucas centenas de ohms. Se estiver molhado com água dissipado no líquido. Por isso, a temperatura do fio

salgada, a resistência elétrica de partes do corpo pode não

aumenta pouco, e a sua resistência praticamente não

passar de alguns ohms. Dependendo das condições da pele, a

corrente que atravessa o corpo pode variar significativamente sofre variação. A corrente, então, pode ser calculada

para uma mesma voltagem. Uma voltagem de 127 V pode pela razão entre a voltagem da bateria e a resistência

gerar uma corrente muito perigosa através de um corpo registrada à temperatura ambiente: molhado. Por isso, regular a temperatura da água do chuveiro

durante o banho não é aconselhável. Faça essa regulagem $V 12 I = = = 60, A R 20$, antes de começar seu banho, enquanto você está com o corpo seco e, de preferência, com os pés calçados com chinelos

Depois que o fio foi retirado da água, o calor gerado passou

de borracha.

a ser dissipado para o ar, em uma taxa muito baixa.

EXERCÍCIO RESOLVIDO Por isso, a temperatura e a resistência do fio aumentaram.

O fio se rompeu em uma posição em que o ponto de fusão

01. Usando um ohmímetro, um estudante mediu a resistência nele era menor que 6,0 Ω , porque sua resistência elétrica do fio foi atingido. Antes de o fio se romper, a corrente

de um fio de aço níquel-cromo de comprimento

tornou-se maior que a resistência medida à temperatura

$L = 10$ cm. A figura mostra esse registro. A seguir, o

estudante mergulhou o fio em um béquer com água e ambiente (2,0 Ω).

alimentou-o com uma bateria de 12 V. Assim que a água

começou a aquecer, o fio foi retirado do líquido com a **A**

CORRENTE E A ENERGIA

fonte de tensão elétrica fornecendo corrente. Então, o fio

ficou rubro e, logo após, rompeu-se. **ELÉTRICA**

. A corrente elétrica é um fluxo de cargas que transporta Ω

Ω A V energia elétrica de um lugar a outro. Quando a corrente passa por um equipamento elétrico ou eletrônico, parte da energia elétrica transportada por essa corrente é convertida

Fio de em outras formas de energia. Em uma lâmpada, parte da resistência energia elétrica converte-se em luz. Em uma televisão, uma grande parcela da energia elétrica transforma-se em luz e som. A figura 15 mostra alguns exemplos de transformação da energia elétrica em uma casa.

O estudante tirou as seguintes conclusões (todas corretas):

1. O diâmetro do fio vale 0,25 mm.
2. A corrente no fio imerso foi, aproximadamente, de 6,0 A.
3. Ao ar livre, a corrente foi menor que 6,0 A.

Justificar as conclusões tiradas pelo estudante.

Resolução:

O diâmetro do fio pode ser avaliado por meio da relação:

$$R = \rho L$$

$$A$$

À temperatura ambiente, a resistência R e a resistividade ρ do fio valem $2,0 \, \Omega$ e $100 \times 10^{-6} \, \Omega\text{cm}$. Substituindo esses valores na equação anterior, obtemos a área A da seção reta do fio:

$$100 \times 10^{-6} \times \frac{2,0}{A} = 2,0 \Rightarrow A = 5,0 \times 10^{-4} \, \text{cm}^2$$

A Figura 15: Transformação de energia em uma casa.

Para quantificar a conversão de energia elétrica em um **O**

EFEITO JOULE

equipamento, considere a figura 16. Ela mostra um pequeno

motor, cujos terminais A e B estão ligados aos polos de duas pilhas. Quando uma corrente elétrica passa por um condutor,

as cargas livres colidem constantemente contra a rede atômica. O potencial elétrico V_A é maior que o potencial V_B .

Por isso, a corrente convencional atravessa o motor de A para B. Por isso, a energia elétrica é transformada em energia térmica.

Essa transformação de energia é conhecida pelo nome de efeito

Joule. Esse efeito ocorre em qualquer condutor ou equipamento

em que flui uma corrente elétrica. A maior parte da energia

elétrica consumida pelo motor da figura 16 é convertida em

energia cinética de rotação, mas uma parcela significativa da

I

energia elétrica é transformada em energia térmica, devido à

resistência elétrica da bobina do motor (um fio de cobre longo

e fino enrolado em torno de um núcleo).

Potencial V_B a ocorrência do efeito Joule é inconveniente. Entretanto, Nas fiações dos circuitos e na maioria dos aparelhos elétricos,

alguns dispositivos elétricos são construídos especificamente

para converter a energia elétrica em energia térmica.

No terminal A, uma carga q possui uma energia potencial. Esse é o caso das resistências de chuveiros, torradeiras de

elétrica $E = qV$. Em B, depois de atravessar o motor, pão, aquecedores elétricos de ambientes, etc. Uma lâmpada A A

a energia da carga é menor e vale $E = qV$. A diferença entre incandescente também pode ser considerada um elemento B B

esses dois valores representa a parcela da energia elétrica de resistência. A emissão de luz ocorre com o filamento da

convertida em energia cinética para girar o motor, em calor, lâmpada a uma temperatura próxima de 3 000 °C. devido à resistência elétrica interna do motor, e em energia A relação $R = V/I$ pode ser substituída na equação da

magnética devido aos efeitos magnéticos da corrente (esses potência. Isso nos conduz a duas equações alternativas para

efeitos serão vistos posteriormente). Matematicamente, o cálculo da potência de elementos resistivos:

a transformação da energia elétrica no motor é: $V_2 P = RI^2$ ou $P = R$

FÍSICA Energia elétrica convertida = $q(V_A - V_B) = qV_{B A}$

Alguns estudantes fazem um pouco de confusão com

V essas equações. A primeira equação parece sugerir que V é a notação compacta para a tensão elétrica. Agora, ΔV efeito Joule diminui quando a resistência diminui, enquanto se dividirmos essa equação pelo tempo Δt que a carga q gasta a segunda parece sugerir exatamente o contrário. Note para atravessar o motor, obteremos a taxa de transformação que, além de depender da resistência, a potência depende da energia elétrica, que é chamada de potência elétrica P . também da tensão e da corrente elétrica. Por isso, para

Como a razão $q/\Delta t$ é a corrente I , a expressão da potência P analisarmos a relação entre a potência e a resistência, antes

é dada por: é necessário especificar qual grandeza, tensão ou corrente



$P = V I_{AB}$ é prescrita. A seguir, apresentamos duas situações, uma em que a tensão é mantida constante e a outra com a corrente mantida constante.

Essa equação pode ser usada para calcular a potência elétrica em qualquer aparelho elétrico, seja ele alimentado Nas casas, a tensão entre a fase e o neutro é fixa, ela vale 127 volts ou 220 volts, dependendo da região do país. por uma corrente contínua ou por uma corrente alternada.

Como a tensão V é constante, podemos aplicar a equação

No último caso, em geral, usamos os valores eficazes da $P = V_2/R$ e concluir que P é inversamente proporcional a R . tensão e da corrente e obtemos o valor eficaz da potência. Um chuveiro apresenta resistência elétrica muito menor que

a resistência de uma lâmpada incandescente. Como esses

Considere, por exemplo, que uma televisão contenha

dispositivos são alimentados pela mesma tensão, a potência as seguintes especificações: 127 V / 250 W. Esses valores do chuveiro deve ser muito maior que a da lâmpada. indicam que o aparelho, ligado em 127 V, despende uma

Quando a corrente elétrica I em dois elementos resistivos potência de 250 W (lê-se 250 watts). Como você sabe,

for igual, a potência P de cada elemento será diretamente

$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$. Assim, nessa televisão, 250 J de energia proporcional à sua resistência R , segundo a expressão

elétrica são transformados basicamente em energias sonora, $P = RI_2$. O filamento de uma lâmpada é percorrido pela luminosa e calorífica, a cada 1 segundo de funcionamento mesma corrente elétrica que passa pelos fios que ligam a

do aparelho. A corrente que entra (e a que sai) no aparelho lâmpada a uma tomada. Desde que a fiação apresente uma

pode ser calculada por meio da relação entre potência, espessura suficientemente grande, a sua resistência elétrica

corrente e voltagem: será desprezível se comparada à da lâmpada. Por isso, apenas

o filamento da lâmpada fica incandescente, e o efeito Joule

$P = V I = 1,97 \text{ A}_{AB} \Rightarrow 250 = 127 \cdot I \Rightarrow$ na fiação é desprezível.

Editora Bernoulli 99

Frente D Módulo 06

O QUILOWATT-HORA EXERCÍCIO RESOLVIDO

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de **02.** A tabela fornece uma lista de equipamentos elétricos de

potência é o watt (W) e a unidade de energia é o joule (J). uma casa e as horas de uso diário. O circuito do banheiro é

O quilowatt-hora (kWh) é outra unidade de energia, usada constituído pelo chuveiro e por uma lâmpada. A voltagem

comumente para medir o consumo mensal de energia elétrica na casa é igual a 120 V. nas residências. Esse consumo, para uma família padrão

(4 pessoas) de classe média, oscila em torno de 400 kWh. **Equipamentos Horas por dia** A relação entre o joule e o quilowatt-hora pode ser obtida da

seguinte forma: Rádio de 20 W 5

Ferro de passar de 1 000 W 0,5

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ J} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

Geladeira de 150 W

Veja como é fácil e prático calcular o consumo de energia 5 lâmpadas de 60 W

elétrica em kWh. Imagine que uma lâmpada de 100 W

Chuveiro de 5000 W

(0,100 kW) da varanda de uma casa seja deixada acesa das

18 horas até as 6 horas da manhã, todos os dias, durante o A) Calcular o valor pago na conta mensal de luz dessa

mês, o que representa 12 horas de uso diário e 360 horas de casa, se 1 kWh custa R\$ 0,70. uso mensal (12.30). Então, o consumo mensal da lâmpada é:

B) Calcular a corrente máxima que o disjuntor do

Consumo = $0,100 \text{ kW} \cdot 360 \text{ h} = 36 \text{ kWh}$ banheiro permite sem interromper o fluxo de

eletricidade.

A um custo de 50 centavos por kWh, o custo para manter

a lâmpada funcionando todos os dias no mês é igual a C) Calcular a resistência do ferro de passar.

R\$ 18,00. **Resolução:**

A figura 17 mostra um registrador do consumo de energia

A) Primeiramente, vamos calcular o consumo em kWh

elétrica. O registro é acumulativo, semelhante à marcação

por mês:

de quilometragem dos painéis dos carros. O funcionário da

companhia de eletricidade anota as leituras em dois meses Consumo = $(0,020.5 + 1.0,5 + 0,150.4 + 0,150.10$

consecutivos, no mesmo dia do mês. Assim, a diferença + $5.0,060.6 +$

$$5.1).30 = 285 \text{ kWh}$$

entre esses valores fornece o consumo nos últimos 30 dias.

O valor pago por essa energia é dado pelo produto entre 285 kWh e 0,70 reais. O resultado é R\$ 199,50.



B) A potência elétrica total no banheiro é a soma da potência do chuveiro com a potência de uma lâmpada: 5 060 W. Como a voltagem na casa é 120 V, a corrente no circuito do banheiro é:

$$P = VI \Rightarrow 5\,060 = 120 \cdot I \Rightarrow I = 42,2 \text{ A}$$

No mercado, os disjuntores mais próximos dessa corrente são de 40 A e 45 A. Nesse caso, o disjuntor de 45 A deve ser escolhido, apesar de o valor da corrente

Figura 17: Medidor de consumo de energia elétrica em kWh. ser mais próximo de 40 A. Caso o disjuntor de 40 A



fosse instalado, o circuito do banheiro “cairia” sempre



que o chuveiro e a lâmpada estivessem funcionando



PARA REFLETIR ao mesmo tempo.



Usando o medidor de consumo de energia C) A resistência do ferro
pode ser calculada por meio da



elétrica, como você poderia fazer para confirmar seguinte relação:



a potência elétrica especificada em uma lâmpada 2 V 120² P = $\Rightarrow$ 1 000
= $\Rightarrow$ R = 14 4 , Ω da sua casa? R R



100 Coleção Estudo

Corrente elétrica

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

08. A dissipação de energia por efeito Joule num resistor depende do sentido da corrente e independe da tensão

01. aplicada sobre ele. (UEL-PR-2008) A capacidade de carga das pilhas e

16. Ao se estabelecer uma corrente elétrica num fio

baterias é dada na unidade Ah (ampère-hora). Se uma

bateria de automóvel possui aproximadamente 44,4 Ah metálico submetido a uma certa tensão contínua,

teremos prótons se movendo do polo positivo ao

de capacidade de carga, qual a capacidade de carga (q)

em coulomb (C) e o número de elétrons (n) que ela pode negativo.

fornecer? Considere $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C. 32. Os metais geralmente são bons condutores de

A) $q = 16 \times 10^5$ C, $n = 10 \times 10^{14}$ eletricidade e de calor. elétrons.

B) $q = 160 \times 10^5$ C, $n = 10 \times 10^{24}$ Soma () elétrons.

C) $q = 1,6 \times 10^5$ C, $n = 1 \times 10^{24}$ elétrons. **05.**
(UFOP-MG-2009) Em uma residência, Dona Maria,

D) $q = 1,6 \times 10^4$ C, $n = 1 \times 10^{14}$ elétrons. insatisfeita com o seu chuveiro elétrico (1 100 W e 110 V),

E) $q = 16 \times 10^4 \text{ C}$, $n = 1 \times 10^{19}$ elétrons. chamou um eletricitista para ajudá-la. O profissional

diminuiu o comprimento do resistor pela metade. Com

02. (FUVEST-SP-2010) Medidas elétricas indicam que a base nessas informações, responda:

superfície terrestre tem carga elétrica total negativa de, A) Qual o valor da resistência antes e depois de cortá-la?

aproximadamente, 600 000 coulombs. Em tempestades,

B) Qual será a nova potência do Chuveiro?

raios de cargas positivas, embora raros, podem atingir a

superfície terrestre. A corrente elétrica desses raios pode C) Supondo-se que o Chuveiro seja utilizado uma hora

atingir valores de até 300 000 A. Que fração da carga por dia e que o custo do quilowatt-hora é de R\$ 0,10,

elétrica total da Terra poderia ser compensada por um qual será o custo total ao final do mês?

raio de 300 000 A e com duração de 0,5 s?

A) 1/2 FÍSICA EXERCÍCIOS PROPOSTOS

B) 1/3

C) 1/4 01. (UFSCar-SP-2008) O capacitor é um elemento de circuito

D) 1/10 muito utilizado em aparelhos eletrônicos de regimes

E) 1/20 alternados ou contínuos. Quando seus dois terminais são

ligados a uma fonte, ele é capaz de armazenar cargas

03. elétricas. Ligando-o a um elemento passivo, como um (UERJ) Num detector de mentiras, uma tensão de 6 V é

apli cada entre os dedos de uma pessoa. Ao responder a resistor, ele se descarrega. O gráfico representa uma

uma pergunta, a resistência entre os seus dedos caiu de aproximação linear da

descarga de um capacitor.

400 k Ω para 300 k Ω . Nesse caso, a corrente no detector i (mA)

apresentou variação, em μ A, de

4,0

A) 5. C) 15.

B) 2,0 10. D) 20.

04. (UFSC–2007) Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**. 0 2,4 4,8 7,2 t (s)

01. Para a maioria dos metais, a resistividade diminui

Sabendo que a carga elétrica fundamental tem valor

quando há um aumento na temperatura. $-19\ 1,6 \times 10\ C$, o número de portadores de carga que

02. Para um condutor ôhmico, um aumento de tensão fluíram durante essa descarga está mais próximo de

corresponde a um aumento proporcional de corrente 17 A) 10. elétrica.

B) 10¹⁴.

04. Para dois condutores de mesmo material e mesmo

C) 10¹¹.

comprimento, sendo que um tem o dobro da área de

seção do outro, teremos uma mesma intensidade de D) 10⁸.

corrente se aplicarmos a mesma tensão sobre ambos. E) 10⁵.

Editora Bernoulli 101

Frente D Módulo 06

02. (UFMG) Uma lâmpada fluorescente contém em seu interior **05.** (PUC Rio) O gráfico seguinte representa a resistência

um gás que se ioniza após a aplicação de alta tensão entre em função da temperatura T de 4 materiais diferentes

seus terminais. Após a ionização, uma corrente elétrica é denominada A, B, C e D.

estabelecida, e os íons negativos deslocam-se com uma 30
taxa de $1,0 \times 10^{18}$ íons/segundo para o polo A. Os íons

A

positivos se deslocam, com a mesma taxa, para o polo B.

20

R (Ω) B

A B C 10

A carga de cada íon positivo é $1,6 \times 10^{-19}$ C. Pode-se dizer D

0

que a corrente elétrica na lâmpada será 0 100 200 300 T (K)

A) 0,16 A.

Considere as seguintes afirmações:

B) 0,32 A.

I. Os materiais B e C apresentam comportamento

C) $1,0 \times 10^{18}$ A.

metálico, tornando-se supercondutores a baixas

D) nula. temperaturas.

03. (Mackenzie-SP-2006) Para a transmissão de energia III. Na temperatura ambiente, o material A é o pior II. O material D é isolante a baixas temperaturas.

elétrica, constrói-se um cabo composto por 7 fios de

condutor.

uma liga de cobre de área de seção transversal 10 mm^2

As afirmações **CORRETAS** são

cada um, como mostra a figura. A resistividade da liga de

cobre é $2,1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. A resistência elétrica desse – A) I, II e III.

B) I e II.

cabo, a cada quilômetro, é

C) II e III.

D) I e III.

E) N.d.a.

06. (UFMG) O gráfico a seguir mostra como varia a tensão

elétrica em um resistor mantido a uma temperatura

A) 2,1 Ω . constante, em função da corrente elétrica que passa por

B) 1,8 Ω . esse resistor.

C) 1,2 Ω .

D) 0,6 Ω .

E) 0,3 Ω .

04. (UFMG) A figura mostra um cabo telefônico. Formado nsão elétrica

por dois fios, esse cabo tem 5,00 km de comprimento. Te

P R Corrente elétrica

Q S Com base nas informações contidas no gráfico,

Constatou-se que, em algum ponto ao longo do é **CORRETO** afirmar que

comprimento desse cabo, os fios fizeram contato elétrico A) a corrente elétrica no resistor é diretamente

entre si, ocasionando um curto-circuito. Para descobrir proporcional à tensão elétrica.

o ponto que causa o curto-circuito, um técnico mede as B) a resistência elétrica do resistor aumenta quando a

resistências entre as extremidades P e Q, encontrando corrente elétrica aumenta.

20,0 Ω , e entre as extremidades R e S, encontrando C) a resistência elétrica do resistor tem o mesmo valor,

80,0 Ω . Com base nesses dados, é **CORRETO** afirmar qualquer que seja a tensão elétrica.

que a distância das extremidades PQ até o ponto que D) dobrando-se a corrente elétrica através do resistor,

causa o curto-circuito é de a potência elétrica consumida quadruplica.

A) 1,25 km. C) 1,00 km. E) o resistor é feito de um material que obedece à Lei

B) 4,00 km. D) 3,75 km. de Ohm.

102 Coleção Estudo

Corrente elétrica

07. (UFSCar-SP-2007) O gráfico mostra como a resistividade **10.** (UFF-RJ-2007) Nas instalações elétricas residenciais

de determinado material varia, conforme a temperatura urbanas, na cidade de Niterói, os eletrodomésticos são

de um resistor é aumentada. ligados a tomadas com 110 V de tensão. Uma notável

Resistividade exceção é o aparelho de ar condicionado, de alta potência,

que é preferencialmente ligado a tomadas de 220 V de

tensão. Considere 2 aparelhos de ar condicionado, de igual

potência nominal, projetados para operar: um, em 110 V,

e o outro, em 220 V. Assinale a opção que **MELHOR** justifica

a escolha do aparelho projetado para operar em 220 V.

A) Como a corrente é, nesse caso, menor, o choque

elétrico provocado por algum acidente ou imprudência

Temperatura será também menos perigoso.

Considere desprezíveis as alterações nas dimensões do fio, B) Como a corrente é, nesse caso, menor, a dissipação

dadas pela variação de temperatura, e responda. por efeito Joule na fiação é também menor, resultando

em economia no consumo de energia elétrica.

Dos gráficos seguintes, aquele que pode representar

a variação da potência elétrica dissipada por um fio C) Como a corrente é, nesse caso, maior, o aparelho de

resistivo cilíndrico, feito desse material e mantido sob ar condicionado refrigerará melhor o ambiente.

uma diferença de potencial constante, é D) Como a corrente é, nesse caso, maior, a dissipação

por efeito Joule na fiação será menor, resultando em

A) Potência elétrica D) Potência elétrica economia no consumo de energia elétrica.

E) A corrente é igual nos 2 casos, mas a potência real do aparelho de ar condicionado, que é o produto da tensão pela corrente, é maior quando a tensão é maior.

Temperatura Temperatura 11. (FURG-RS-2006) As lâmpadas de uma casa, ligadas a

B) Potência elétrica E) Potência elétrica uma tensão de 110 V, queimam com muita frequência.

A dona da casa pensa em adquirir lâmpadas de 130 V ao invés de 110 V, como é habitual, porque acredita que estas terão maior durabilidade. Esse procedimento será

A) válido, porém as lâmpadas terão luminosidade **FÍSICA**

Temperatura reduzida. Temperatura

B) impossível, pois as lâmpadas queimarão imediatamente.

C) Potência elétrica

C) perigoso, pois sobrecarregará a rede elétrica.

D) inútil, pois as lâmpadas não vão acender.

E) vantajoso, pois as lâmpadas terão maior luminosidade.

Temperatura 12. (UNIFESP-2008) Um consumidor troca a televisão de 29 polegadas e 70 W de potência por uma de plasma de

08. 42 pulegadas e 220 W de potência. Se em sua casa se

(UFOP-MG) Um estudante de Brasília, onde a diferença de

potencial é 220 V, tem a felicidade de passar no vestibular pode-se afirmar que o aumento de consumo mensal assiste televisão durante 6,0 horas por dia, em média,

e vem estudar em Ouro Preto, onde a diferença de de energia elétrica que essa troca vai acarretar é,

potencial é 110 V. Para que o velho tostador de pão, que aproximadamente, de

ele carrega para toda parte, tenha o mesmo desempenho A) 13 kWh. C) 40 kWh. E) 220 kWh.

em Ouro Preto, a sua resistência elétrica deve ser B) 27 kWh. D) 70 kWh.

A) dobrada. C) reduzida a um quarto.

B) quadruplicada. D) reduzida à metade. 13. (VUNESP)

As companhias de eletricidade geralmente

usam medidores calibrados em quilowatt-hora (kWh).

09. (Unimontes-MG) Uma empresa de energia elétrica Um kWh representa o trabalho realizado por uma máquina

resolve, num período de 30 dias, diminuir a tensão elétrica desenvolvendo potência igual a 1 kW durante 1 hora.

fornecida às residências em 10% (de 120 V para 108 V). Numa conta mensal de energia elétrica de uma resi-

cujos dados nominais são 120 V – 4 000 W, é utilizado seguintes valores:
Consumo Total a pagar 30 minutos por dia, todos os dias. O uso desse chuveiro, Numa determinada residência, um chuveiro elétrico, dência com quatro moradores, leem-se, entre outros, os

300 kWh R\$ 75,00

no consumo de energia elétrica, Cada um dos quatro moradores toma um banho diário, um de cada vez, num chuveiro elétrico de 3 kW. Se cada nesses 30 dias, sob a tensão de 108 V, representará,

A) um aumento de 11,4 kWh. banho tem duração de cinco minutos, o custo ao final de

B) um aumento de 3,2 kWh. um mês (30 dias) da energia consumida pelo chuveiro é de

C) uma diminuição de 3,2 kWh. A) R\$ 4,50. C) R\$ 15,00. E) R\$ 45,00.

D) uma diminuição de 11,4 kWh. B) R\$ 7,50. D) R\$ 22,50.

Editora Bernoulli 103

Frente D Módulo 06

14. (UFTM-MG-2010) Um resistor de resistência variável **SEÇÃO** **ENEM**

encontra-se submetido a uma diferença de potencial de

intensidade invariável. Faz-se, então, com que o
valor de **01**. (Enem-2010) A resistência elétrica de um fio é

sua resistência sofra uma modificação. Indicando-se com

uma seta apontada para cima a ideia de crescimento da determinada pelas suas dimensões e pelas propriedades

intensidade, e, de modo inverso, uma seta apontada para estruturais do material. A condutividade (σ) caracteriza

baixo, a ideia de decréscimo da intensidade, e abreviando a estrutura do material, de tal forma que a resistência

as grandezas resistência elétrica, corrente elétrica e de um fio pode ser determinada conhecendo-se L ,

potência, respectivamente por R , i e P , das implicações o comprimento do fio, e A , a área de seção reta. A tabela

apontadas, é **CORRETA** a relaciona o material a sua respectiva resistividade em

temperatura
ambiente.

A) $R \uparrow \Rightarrow i \uparrow \Rightarrow P \uparrow$

B) $R \uparrow \Rightarrow i \uparrow \Rightarrow P \downarrow$ **Tabela de condutividade**

C) $R \uparrow \Rightarrow i \downarrow \Rightarrow P \downarrow$ **Material Condutividade ($S.m/mm^2$)**

D) $R \uparrow \Rightarrow i \downarrow \Rightarrow P$ (inalterada) Alumínio 34,2

E) $R \uparrow \Rightarrow i$ (inalterada) $\Rightarrow P \uparrow$ Cobre 61,7

15. (UNIFEI-MG–2007) O gráfico a seguir mostra como a Prata Ferro 10,2

62,5

corrente elétrica, no interior de um condutor metálico, varia

com o tempo. **DETERMINE** a carga elétrica que atravessa Tungstênio 18,8

uma seção do condutor em 6 (seis) segundos.

I (mA) Mantendo-se as mesmas dimensões geométricas, o fio

que apresenta menor resistência elétrica é aquele feito de

A) tungstênio.

36,0 B) alumínio.

C) ferro.

D) cobre.

E) prata.

02. (Enem–2010) A energia elétrica consumida nas

residências é medida, em quilowatt-hora, por meio de

0 2 4 6 t (s)

um relógio medidor de consumo. Nesse relógio, da direita

para esquerda, tem-se o ponteiro da unidade, da dezena,

16. (UFJF-MG–2010) O gráfico mostra a potência elétrica, da centena e do milhar,
Se um ponteiro estiver entre dois

em kW, consumida na residência de um morador da cidade números, considera-se
o último número ultrapassado

de Juiz de Fora, ao longo do dia. A residência é alimentada pelo ponteiro.
Suponha que as medidas indicadas nos

com uma voltagem de 120 V. Essa residência tem um esquemas seguintes tenham
sido feitas em uma cidade

disjuntor que desarma, se a corrente elétrica ultrapassar em que o preço do

quilowatt-hora fosse de R\$ 0,20.

um certo valor, para evitar danos na instalação elétrica. Por
outro lado, esse disjuntor é dimensionado para suportar o leitura atual
uma corrente utilizada na operação de todos os aparelhos 0 0 0 1 9 9 1 1 9 9 1
da residência, que somam uma potência total de 7,20 kW. 2 8 2 8 2

3 7 3 7 3



10 4 6 6 4 4 6 6 4 5 5 5 5

8 leitura do mês passado

6 0 0 0 0 1 9 9 1 1 9 9 1

4 2 8 2 8 2

tência (kW) 3 7 3 7 3 Po 2 4 6 6 4 4 6 6 4 5 5 5 5

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 FILHO, A. G.; BAROLLI, E.
Instalação Elétrica. Tempo (hora) São Paulo: Scipione, 1997.

A) Qual é o valor máximo de corrente que o disjuntor

O valor a ser pago pelo consumo de energia elétrica
pode suportar?

registrado seria
de

B) Qual é a energia em kWh consumida ao longo de um

A) R\$ 41,80. D) R\$ 43,80.

dia nessa residência?

C) Qual é o preço a pagar por um mês de consumo, B) R\$ 42,00. E) R\$ 44,00.
se o 1 kWh custa R\$ 0,50? C) R\$ 43,00.

Corrente elétrica

03. (Enem–2009) É possível, com 1 litro de gasolina, **05.** (Enem–2001) “[...] O Brasil tem potencial para produzir

usando todo o calor produzido por sua combustão pelo menos 15 mil megawatts por hora de energia a partir

direta, aquecer 200 litros de água de 20 °C a 55 °C. de fontes alternativas. Somente nos Estados da região

Pode-se efetuar esse mesmo aquecimento por um Sul, o potencial de geração de energia por intermédio

gerador de eletricidade, que consome 1 litro de gasolina das sobras agrícolas e florestais é de 5 000 megawatts

por hora e fornece 110 V a um resistor de 11 Ω , por hora. Para se ter uma ideia do que isso representa,

imerso na água, durante um certo intervalo de tempo. a usina hidrelétrica de Itá, uma das maiores do país, na

Todo o calor liberado pelo resistor é transferido à água.

divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, gera

Considerando que o calor específico da água é igual a

4,19 J.g.⁻¹.°C⁻¹, aproximadamente, qual a quantidade –1 1 450 megawatts de energia por hora.”

de gasolina consumida para o aquecimento de água Esse texto, transcrito de um jornal de grande circulação,

obtido pelo gerador, quando comparado ao obtido a contém, pelo menos, um erro conceitual ao apresentar

partir da combustão? valores de produção e de potencial de geração de energia.

A) A quantidade de gasolina consumida é igual para os Esse erro consiste em

dois casos. A) apresentar valores muito altos para a grandeza

B) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é energia.

duas vezes maior que a consumida na combustão. B) usar unidade megawatt para expressar os valores de

C) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é potência.

duas vezes menor que a consumida na combustão.

C) usar unidades elétricas para biomassa.

D) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é

D) fazer uso da unidade incorreta megawatt por hora.

sete vezes maior que a consumida na combustão.

E) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é E) apresentar valores numéricos incompatíveis com as

sete vezes menor que a consumida na combustão. unidades.

04. (Enem–2005) Podemos estimar o consumo de energia diversas aplicações, dentre elas, destacam-se aquelas **06.** (Enem–2009) Os motores elétricos são dispositivos com

elétrica de uma casa considerando as principais fontes

que proporcionam conforto e praticidade para as pessoas. **FÍSICA**

desse consumo. Pense na situação em que apenas

os aparelhos que constam na tabela a seguir fossem É inegável a preferência pelo uso de elevadores quando

utilizados diariamente da mesma forma. o objetivo é o transporte de pessoas pelos andares de

prédios elevados. Nesse caso, um dimensionamento

Tabela: A tabela fornece a potência e o tempo efetivo de

preciso da potência dos motores utilizados nos elevadores

uso diário de cada aparelho doméstico.

é muito importante e deve levar em consideração fatores

Tempo de uso como economia de energia e segurança.

Aparelho Potência (kW)

diário (horas) Considere que um elevador de 800 kg, quando lotado

com oito pessoas ou 600 kg, precisa ser projetado. Para

Ar condicionado 1,5 8

tanto, alguns parâmetros deverão ser dimensionados.

O motor será ligado à rede elétrica que fornece 220 volts

Chuveiro elétrico 3,3 1/3

de tensão. O elevador deve subir 10 andares, em torno

de 30 metros, a uma velocidade constante de 4 metros

Freezer 0,2 10 por segundo. Para fazer uma estimativa simples de

potência necessária e da corrente que deve ser fornecida

Geladeira 0,35 10 ao motor do elevador para ele operar com lotação

máxima, considere que a tensão seja contínua, que a

Lâmpadas 0,10 6 aceleração da gravidade vale 10 m/s^2 e que o atrito

pode ser desprezado. Nesse caso, para um elevador

Supondo que o mês tenha 30 dias e que o custo de lotado, a potência média de saída do motor do elevador

1 kWh é de R\$ 0,40, o gasto com energia elétrica mensal e a corrente elétrica máxima que passa no motor serão,

dessa casa é de aproximadamente respectivamente, de

A) R\$ 135. A) 24 kW e 109 A.

B) R\$ 165. B) 32 kW e 145 A.

C) R\$ 190. C) 56 kW e 255 A.

D) R\$ 210. D) 180 kW e 818 A.

E) R\$ 230. E) 240 kW e 1 090 A.

Editora Bernoulli 105

Frente D Módulo 06

07. (Enem–2009) Uma estudante que ingressou na universidade e, pela primeira vez, está morando longe da sua família, recebe

a sua primeira conta de luz:

Medidor Consumo Leitura Cód. Emissão Id. Bancária

Número Consumidor Leitura kWh Dia Mês Banco Agência Município

21 01/04/2009

7131312 951672 7295 260 31 03 222 999-7 S. José das Moças

Consumo dos últimos 12 meses em kWh Descrição

253 Mar/08 278 Jun/08 272 Set/08 285 Dez/08

Fornecimento

247 Abr/08 280 Jul/08 270 Out/08 286 Jan/09

ICMS

255 Mai/08 275 Ago/08 280 Nov/08 288 Fev/09

Base de Cálculo ICMS Alíquota Valor Total

R\$ 130,00 25% R\$ 32,50 R\$ 162,50

Se essa estudante comprar um secador de cabelos que consome 1 000 W de potência e considerando que ela e suas 3 amigas

utilizem esse aparelho por 15 minutos cada uma durante 20 dias no mês, o acréscimo em reais na sua conta mensal será de

A) R\$ 10,00. D) R\$ 13,50.

B) R\$ 12,50. E) R\$ 14,00.

C) R\$ 13,00.

GABARITO 09. D

Fixação

10. B

11. A

01. C 12. B

02. C 13. B 03. A

14. C

04. Soma = 34

15. $q = 0,18 \text{ C}$

05. A) $R_{\text{inicial}} = 11 \, \Omega$, $R_{\text{final}} = 5,5 \, \Omega$

16. A) $I = 60 \text{ A}$

B) $P = 2 \, 200 \text{ W}$

B) $E = 24 \text{ kWh}$

C) $R\$ 6,60$

Propostos

C) $R\$ 360,00$

01. A **Seção Enem**

02. B 01. E

03. E 02. E

04. C 03. D

05. A 04. E

06. B 05. D

07. A 06. C

08. C 07. B

106 Coleção Estudo